2014 ISIDE

International Symposium on Industrial Design Engineering

The First International Symposium on Industrial Design Engineering (ISIDE14)

8-9th May, 2014

Karabük University, Karabük, TURKEY

ISIDE14

Proceedings of The First International Symposium on Industrial Design Engineering (ISIDE14) is held May 8-9, 2014 at Karabük University, Faculty of Technology, Karabük, Turkey.

Edited by

Assoc. Prof. Dr. Cevdet GÖLOĞLU

Copyright
© 2014, ISIDE14, Karabuk University

Karabük University, Karabük, Turkey
http://iside14.karabuk.edu.tr/
iside14@karabuk.edu.tr

This proceedings includes the original papers submitted to ISIDE14. It is accessed in free of charge.
All scientific and linguistic responsibilities of the published articles belong to their authors.

HONOUR COMMITTEE

Prof. Dr. Burhanettin UYSAL, Rector of Karabuk University
Prof. Dr. H. Fahrettin KELEŞTEMUR, Rector of Erciyes University
Prof. Dr. Süleyman BÜYÜKBERBER, Rector of Gazi University
Prof. Dr. M. Zafer GÜL, Rector of Marmara University
Prof. Dr. Mehmet PAKDEMİRLİ, Rector of Celal Bayar University
Prof. Dr. Nnamdi 'Ndy' Ekere, Dean of The Faculty of Science and Engineering University of Wolverhampton
Prof. Dr. Victor Berdichevsky, College of Engineering Wayne State University

CHAIRS

Dr. Kerim ÇETİNKAYA, Karabük University
Dr. Cevdet GÖLOĞLU, Karabük University

ORGANIZING COMMITTEE

Dr. Mustafa YAŞAR, Karabük University
Dr. Kerim ÇETİNKAYA, Karabük University
Dr. İbrahim ÇİFTCİ, Karabük University
Dr. Cevdet GÖLOĞLU, Karabük University
Dr. Birhan IŞIK, Karabük University
Dr. Süleyman SEMİZ, Karabük University
Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ, Karabük University
Dr. Suat ALTUN, Karabük University
Dr. Bahadır ACAR, Karabük University
Dr. Hatice EVLEN, Karabük University
Murat AYDIN, Karabük University
Arslan NAQVİ, Karabük University

SCIENTIFIC COMMITTEE

Dr. Abdullah TOĞAY, Gazi University (TR)
Dr. Abdurrahman KARABULUT, Afyon Kocatepe University (TR)
Dr. Adnan MİDİLLİ, Recep Tayyip Erdoğan University (TR)
Dr. Ahmet CAN, Necmettin Erbakan University (TR)
Dr. Ahmet DEMİRER, Sakarya University (TR)
Dr. Ali KASAL, Muğla Sıtkı Koçman University (TR)
Dr. Ali ÖZTÜRK, Necmettin Erbakan University (TR)
Dr. Ali Rıza YILDIZ, Bursa Teknik University (TR)
Dr. Anshu Dhar JAYAL, Indian Institute of Technology Ropar (IN)
Dr. Arif GÖK, Amasya University (TR)
Dr. Arif ÖZKAN, Düzce University (TR)
Dr. Asım BALBAY, Siirt University (TR)
Dr. Bedri TUÇ, Gazi University (TR)
Dr. Barkın BAKIR, Marmara University (TR)
Dr. Bekir ÜNLÜ, Celal Bayar University (TR)
Dr. Bekir YALÇIN, Süleyman Demirel University (TR)
Dr. Bilçen MUTLU, Marmara University (TR)
Dr. Birhan IŞIK, Karabuk University (TR)
Dr. Burhan SELÇUK, Cumhuriyet University (TR)
Dr. Cemal ÖZCAN, Karabuk University (TR)
Dr. Cem ONAT, İnönü University (TR)
Dr. Cem SİNANOĞLU, Erciyes University (TR)
Dr. Cengiz BAYKASOĞLU, Hitit University (TR)
Dr. Cevdet GÖLOĞLU, Karabuk University (TR)
Dr. Coşkun HAMZAÇEBİ, Karadeniz Teknik University (TR)
Dr. Cüneyt FETVACI, İstanbul University (TR)
Dr. Dayal R. Parhi, National Institute of Technology, (IN)
Dr. Devrim DEMİRAY SOYASLAN, Mehmet Akif University (TR)
Dr. Emeka AMALU, Wolverhampton University (UK)
Dr. Enes YAŞA, Necmettin Erbakan University (TR)
Dr. Erdem UZUNSOY, Bursa Teknik University (TR)
Dr. Ergün NART, Sakarya University (TR)
Dr. Erkan BAHÇE, İnönü University (TR)
Dr. Fahrettin ÖZTÜRK, Niğde University (TR), The Petroleum Institute, Abu Dhabi, (UAE)
Dr. Fazıl Önder SÖNMEZ, Boğaziçi University (TR)
Dr. Halil AYKUL, Hitit University (TR)
Dr. Halil İbrahim DEMİRCİ, Karabuk University (TR)
Dr. Hamit SARUHAN, Düzce University (TR)
Dr. Hasan GEDİKLİ, Karadeniz Teknik University (TR)
Dr. Hatice EVLEN, Karabuk University (TR)
Dr. Hayrettin DÜZCÜKOĞLU, Selçuk University (TR)
Dr. Hikmet KOCABAŞ, İstanbul Teknik University (TR)
Dr. Hilal CAN, Pamukkale University (TR)
Dr. Hüsamettin BULUT, Harran University (TR)
Dr. Hüseyin Erol AKATA, İstanbul Aydın University (TR)
Dr. Hüseyin Rıza BÖRKLÜ, Gazi University (TR)
Dr. İbrahim CAN, Cumhuriyet University (TR)
Dr. İbrahim ÇİFTCİ, Karabuk University (TR)
Dr. İbrahim Deniz AKÇALI, Çukurova University (TR)
Dr. İbrahim KADI, Karabuk University (TR)
Dr. İbrahim KELEŞ, Ondokuz Mayıs University (TR)
Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ, Namık Kemal University (TR)
Dr. İdris KAREN, Bursa Orhangazi University (TR)
Dr. İhsan TOKTAŞ, Yıldırım Beyazıt University (TR)
Dr. İsmail ERTÜRK, Turgut Özal University (TR)
Dr. İsmail ŞAHİN, Gazi University (TR)
Dr. İsmet ÇELİK, Dumlupınar University (TR)
Dr. Kadir AYDIN, Çukurova University (TR)
Dr. Kadir ÇAVDAR, Uludağ University (TR)
Dr. Kerim ÇETİNKAYA, Karabuk University (TR)
Dr. Kürşat DÜNDAR, Atılım University (TR)
Dr. Latif ÖZLER, Fırat University (TR)
Dr. Levent MALGACA, Dokuz Eylül University (TR)
Dr. Mahmut AYDIN, Türk Hava Kurumu University (TR)
Dr. Mahmut ÖZBAY, Gazi University (TR)
Dr. Mehmet Ali YURDUSEV, Celal Bayar University (TR)
Dr. Mehmet BAĞCI, Selçuk University (TR)
Dr. Mehmet EROĞLU, Gazi University (TR)
Dr. Mehmet FIRAT, Sakarya University (TR)
Dr. Menderes KALKAT, Niğde University (TR)
Dr. Mert Şafak TUNALIOĞLU, Hitit University (TR)
Dr. Mete KALYONCU, Selçuk University (TR)

Dr. M. Cemal ÇAKIR, Uludağ University (TR)
Dr. M. Cengiz KAYACAN, Süleyman Demirel University (TR)
Dr. Mine DEMİRSOY, Dokuz Eylül University (TR)
Dr. Muammer GAVAŞ, Dumlupınar University (TR)
Dr. Murat PAKDİL, Abant İzzet Baysal University (TR)
Dr. Mustafa BOZDEMİR, Kırıkkale University (TR)
Dr. Mustafa DEMETGÜL, Marmara University (TR)
Dr. Mustafa Kemal KÜLEKCİ, Mersin University (TR)
Dr. Mustafa KURT, Marmara University (TR)
Dr. Mustafa YAŞAR, Karabuk University (TR)
Dr. Ndy EKERE, Wolverhampton University (UK)
Dr. Necmettin KAYA, Uludağ University (TR)
Dr. Nihat TOSUN, Fırat University (TR)
Dr. Nusret MEYDANLIK, Trakya University (TR)
Dr. Nusret Sefa KURALAY, Dokuz Eylül University (TR)
Dr. Oğuz BORAT, İstanbul Ticaret University (TR)
Dr. Oğuz ÇOLAK, Süleyman Demirel University (TR)
Dr. Oğuz TEKELİOĞLU, Tunceli University (TR)
Dr. Onur GÜVEN, Mersin University (TR)
Dr. Onur ÖZSOLAK, Cumhuriyet University (TR)
Dr. Ömer KARABIYIK, Süleyman Demirel University (TR)
Dr. Philip MATHEW, UNSW/Shandong University (AU/CN)
Dr. Raif BAYIR, Karabuk University (TR)
Dr. Ramazan KAYACAN, Süleyman Demirel University (TR)
Dr. Ramazan KÖSE, Dumlupınar University (TR)
Dr. Raşit ESEN, Karabuk University (TR)
Dr. Recai Fatih TUNAY, Süleyman Demirel University (TR)
Dr. Salih OKUR, İzmir Katip Çelebi University(TR)
Dr. Selçuk ÇEBİ, Karadeniz Teknik University (TR)
Dr. Seçkin ERDEN, Ege University (TR)
Dr. Serdar SALMAN, Mehmet Akif Ersoy University (TR)
Dr. Servet SOYGÜDER, Fırat University (TR)
Dr. Silvana Prekrat,University of Zagreb (HR)
Dr. Stjepan PERVAN, University of Zagreb (HR)
Dr. Suat ALTUN, Karabuk University (TR)
Dr. Süleyman BIYIKLI, Okan University (TR)
Dr. Süleyman SEMİZ, Karabuk University (TR)
Dr. Süleyman TAŞGETİREN, Afyon Kocatepe University (TR)
Dr. Tahir IMRAN, University of NFC-IET (PK)
Dr. Ulvi ŞEKER, Gazi University (TR)
Dr. Ünver KAYNAK, TOBB Ekonomi ve Teknoloji University (TR)
Dr. Xin WU, Wayne State University (USA)
Dr. Yiğit KARPAT, Bilkent University (TR)
Dr. Yusuf CUNEDİOĞLU, Niğde University (TR)
Dr. Yusuf KAYNAK, Marmara University (TR)
Dr. Zeki AYAG, Kadir Has University (TR)
Dr. Zeki ÇİZMECİOĞLU, İstanbul Ticaret University (TR)

PREFACE

The First International Symposium on Industrial Design Engineering (ISIDE14) has organized by Karabük University (TR) with the co-organizers of Wolverhampton University (GB), Wayne State University (USA), Erciyes University (TR), Gazi University (TR), Marmara University (TR), Celal Bayar University (TR), NFC Institute of Engineering & Technology (NFC-IET) (PK), and Zagreb University (HR). It has been considered to be a forum for the academicians, practitioners, and the experts to discuss technological implementations and approaches in the field of industrial design engineering.

As science and technology intervene one another, the both are significant players from the economical growth and social prosperity point of views. Producing high valued designed products backed by scientific studies and advanced technologies need the industry representatives and academicians work together an intensive manner at the meetings such as congress, colloquium, symposium etc. where the original scientific studies and technological novelties are explained and the participants exchange information vice versa.

The design is not only composed of art but also it should include engineering thinking. The solutions are made by taking engineering considerations into account. Therefore this symposium, as its name refers, is the first symposium, in its special format, gathers academicians, practitioners, company representatives in the field of industrial engineering design.

As a platform where R&D studies are presented, shared, and discussed, The First Symposium on Industrial Design Engineering (ISIDE14) will be a successful event over 50 papers submitted. The papers from 5 countries are contributed. The papers cover a wide range of different divisions such as Machinery and Tooling, Machine Tools Design, Product Design Methodologies, Vehicle Design, Biomedical and Sport Equipment Design, Environmental System Design and others. The papers reflect the growing interest in industrial design engineering and its implementations in this common platform.

We would like to express our sincere thanks to those people who spend great effort to make this event take place. We sent our special thanks to our Rector Prof. Dr. Burhanettin UYSAL and our vice rector Prof. Dr. İbrahim KADI, and Dean of Faculty of Technology, which hosts the ISIDE14, Prof. Dr. Mustafa YAŞAR for their invaluable support. We would also like to thank to members of Honour Committee, Scientific Committee, Organizing Committee, for their great effort to make the event successful. Last but not least, we would like to thank to academicians, practitioners, and the experts who were joined to ISIDE14 in order to share their knowledge.

With the wishes to see you at the Second International Symposium on Industrial Design Engineering.

ISIDE14 Chairs

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA
Assoc. Prof Dr. Cevdet GÖLOĞLU

May 2014, Karabük

ACKNOWLEDGEMENTS

We wish to thank the following Universities and companies for their contribution to the success of this symposium:

WOLVERHAMPTON UNIVERSITY

WAYNE STATE UNIVERSITY

ERCİYES UNIVERSITY

GAZİ UNIVERSITY

MARMARA UNIVERSITY

CELAL BAYAR UNIVERSITY

ZAGREB UNIVERSITY

NFC INSTITUTE OF ENGINEERING & TECHNOLOGY (NFC-IET)

KARDEMİR IRON STEEL COMPANY

CONTENTS

The committees	ii-iv
Preface	v
Acknowledgements	vi

PAPERS

PAPER ID	TITLE	AUTHORS	PAGE NUMBERS
	Machinery and Tooling		
ISIDE14-MT-01	4-SERBESTLIK DERECELI GERÇEK BIR SERI ROBOTUN TERS KINEMATIĞININ QPSO ILE ÇÖZÜMÜ INVERSE KINEMATICS SOLUTION OF A 4-DOF REAL SERIAL ROBOT MANIPULATOR USING QPSO	Mustafa AYYILDIZ, Kerim ÇETİNKAYA	1-5
ISIDE14-MT-02	BEŞ EKSENLI BEŞİK SİSTEMLİ CNC TASARIMI VE İMALATI DESIGN AND MANUFACTURING OF A FIVE-AXIS CRADLE CNC	Memet Sıdık GÜN, Hüseyin KAYGISIZ, Kerim ÇETİNKAYA	6-11
ISIDE14-MT-03	EFFECTS OF DIFFERENT TOOL DIAMETER ON FREE FORM SURFACES MACHINING WITH B-SPLINE CURVE	Erkan BAHÇE, Burak ÖZDEMİR	12-16
ISIDE14-MT-04	KARDEMIR, RAY PROFIL HADDEHANESI ÇAPAK TEMIZLEME SISTEMI BURR CLEANING SYSTEM FOR RAIL PROFILE ROLLER IN KARDEMİR	M. Feridun DENGİZEK	17-20
ISIDE14-MT-05	YERİNDE İŞLEME UYGULAMALARI İÇİN PORTATİF TİP FREZE TEZGAHI DİZAYNI VE ANALİZİ DESIGN AND ANALYZES OF PORTABLE MILLING MACHINE FOR IN PLACE MACHINIG APPLICATIONS	Tamer ÇOBANOĞLU, Sabri ÖZTÜRK	21-25
ISIDE14-MT-06	CNC TAKIM TEZGÂHI SEÇİMİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU A FUZZY MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHOD FOR SELECTION OF CNC MACHINE TOOL	Aytaç YILDIZ, Barış ÖZLÜ, Harun YAKA, Levent UĞUR	26-31
ISIDE14-MT-07	CNC BORU BÜKME VE KESME TEZGÂH TASARIMI VE PROTOTİPİ CNC PIPE BENDING AND CUTTING MACHINE DESIGN AND ITS PROTOTYPE	Yasin ÖZKAYA, Kerim ÇETİNKAYA	32-36
ISIDE14-MT-08	A GUIDE ON BUILDING YOUR OWN MICRO 5-AXİS CNC MILLING MACHINE	Syed Arslan Hassan NAQVI, Kerim ÇETINKAYA	37-42
	Machine Tool Design		
ISIDE14-MTD-01	HAREKETLİ MAKİNE ELEMANARININ FARKLI FREKANSLARDA TİTREŞİMİN İNCELENMESİ VE SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ DIFFERENT FREQUENCIES OF VIBRATION OF THE MOVING MACHINE ELEMENT ANALYSIS AND FINITE ELEMENT ANALYSIS	Aysu AKILLI, Oğuzhan BİLDİK	43-48
ISIDE14-MTD-02	THE EFFECT OF PITCH VARIATION ON MECHANICAL PROPERTIES IN THE DESIGN OF TOOTH IMPLANT	Elife Burcu GÜVEN, Onur GÜVEN	49-53
ISIDE14-MTD-03	LIMITED PRESSURE-VELOCITY JOURNAL BEARING TEST EQUIPMENT DESIGN FOR DETERMINING OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOURS OF POLYMERS	Mehmet Turan DEMİRCİ, Hayrettin DÜZCÜKOĞLU	54-56
ISIDE14-MTD-04	BLOK-DİSK AŞINMA TEST CİHAZININ TASARIMI VE İMALATI DESIGN AND MANUFACTURING OF THE BLOCK-DISC WEAR TESTING APPARATUS	Safa ŞENAYSOY, Recai Fatih TUNAY	57-60
ISIDE14-MTD-05	KOMPOZİT VE ALÜMİNYUM EKSTERNAL FİKSATÖR SİSTEMLERİNİN NÜMERİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI NUMERICAL COMPARISON OF COMPOSITE AND ALUMINUM EXTERNAL FRACTURE FIXATION SYSTEMS: A FEM STUDY	Eser PALA, Seçkin ERDEN	61-63
ISIDE14-MTD-06	TAHRİBATSIZ TEST TEKNİKLERİNDE ISI İLETKENLİK CİHAZI TASARIMI VE KULLANILMASI DESINGING AND USING A THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING EQUIPMENT AS A NON-DESTRUCTIVE TESTING TECHNIQUE	Şeref KURT, Mustafa KORKMAZ, , Hüseyin YÖRÜR, Muhammed Nuri GÜNAY	64-67

PAPER ID	TITLE	AUTHORS	PAGE NUMBERS
ISIDE14-MTD-07	METALİK TOZ KAYMALI YATAKLARIN YENİ DİZAYN KAYMALI YATAK TEST DONANIMI İLE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ THE INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOURS OF METALLIC POWDER JOURNAL BEARING BY USING NEW DESIGNED JOURNAL BEARING TEST EQUIPMENT	Serkan ÖZÇELİK, Hayrettin DÜZCÜKOĞLU, Mehmet Turan DEMİRCİ	68-70
ISIDE14-MTD-08	CRASHWORTHINESS INVESTIGATION OF METALLIC THIN-WALLED TUBES UNDER AXIAL IMPACT LOADING	Cengiz BAYKASOGLU, Merve Tunay CETİN, Ozlem YALCİN	71-75
ISIDE14-MTD-09	CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYAMİD 6.6 NIN ENJEKSİYON PROSESİNİN SONLU ELEMAN ANALİZİ FINITE ELEMENT ANALYSIS OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYAMIDE 6.6 INJECTION PROCESS	G. Başar KOCABAŞ ve M. Emin ERDİN	76-81
ISIDE14-MTD-10	TOOL DESIGN INCLUDING HEATING AND COOLING UNITS FOR WARM DEEP DRAWING PROCESS	M. Hüseyin ÇETİN, Mevlüt TÜRKÖZ, Adem Fatih ÖZALP, Osman YİĞİT, Erol ARCAKLIOĞLU	82-86
ISIDE14-MTD-11	SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAYIN MODELLENMESİ POLYMER COMPOSITE OF LEAF SPRİNG MODELING USING THE FINITE ELEMENT METHOD	Oğuzhan BİLDİK, Birhan IŞIK	87-90
ISIDE14-MTD-12	DÖNEL EĞMELİ YORULMA TEST CİHAZININ TASARIMI VE ÜRETİMİ DESIGN AND MANUFACTURING OF ROTATING BAR BENDING FATIGUE TEST MACHINE	Emre KÜÇÜK, Sait ÖZÇELİK, Kerem Ali BAKACAK, Yavuz SUN, Hayrettin AHLATCI	91-93
ISIDE14-MTD-13	HALKA/ABRASİV TAMBUR ÜZERİNDE BLOK/PİN AŞINMA CİHAZ TASARIMI VE İMALATI RING / ABRASIVE DRUM ON THE BLOCK / PIN WEAR DESIGN AND MANUFACTURING EQUIPMENT	Öznur ŞİŞMAN, Onur ÖZER, Ahmet KELEŞ, Yiğit GÜMÜŞBOĞA, Emre TABAN, Yavuz SUN, Hayrettin AHLATCI	94-96
ISIDE14-MTD-14	A STUDY ON COMPARISON OF BOLT TENSIONING APPLIED BY CONVENTIONAL TORQUE METHOD AND HYDRAULIC TENSION METHOD	Bilal Mohammed Qasim, Burak Şahin, Mustafa Yaşar, Nihat Yıldırım	97-103
ISIDE14-MTD-15	ENDÜSTRIDE TRANSPORT SISTEMI OLARAK KULLANILAN KOVA KALDIRMA SISTEMI TASARIMI DESIGN OF LIFTING BUCKETS USED AS A TRANSPORTATION SYSTEM IN INDUSTRY	Hüseyin ACAR, Süleyman SEMİZ	104-105
ISIDE14-MTD-16	PİRİNA İLE HURDA PET (POLİETİLEN TEREFTALAT) KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ İÇİN KALIP TASARIMI VE İMALATI DESIGN AND MANUFACTURING OF COMPOSITE MOLD FOR PRODUCTION OF POMACE – RECYCLING PET COMPOSITE MATERIAL	Hasan ATEŞ, Tuncer UĞUR, İbrahim KADI, Hatice EVLEN	106-112
ISIDE14-MTD-17	PET (POLİETİLEN TEREFTALAT) GERİ DÖNÜŞÜM POLİMERİNİN PİRİNA İLE KARIŞTIRILARAK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ İÇİN HOMOJEN KARIŞTIRICI TASARIMI UNIFORM MIXER DESIGN FOR THE PRODUCTION OF RECYCLING PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) – POMACE POLIMER COMPOSITE	Erhan ERDEM, Aydın ÇALIŞKAN, İbrahim KADI, Hatice EVLEN	113-116
ISIDE14-MTD-18	AA 5754 SAC MALZEMELERİN METAL SIVAMA VE HİDROLİK AKIŞKANLA ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE UYGULANILAN KUVVETİNİN ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF THE FORCE APPLIED IN SHAPING AA5754 SHEET METAL BY METAL SPINNING AND HYDROFORMING	Mustafa YAŞAR, İsmail ALTIN	117-122
ISIDE14-MTD-19	FARKLI ZIMBA TASARIMI VE BÜKME YÖNTEMLERİNİN GERİ ESNEME ÜZERİNE ETKİSİ DETERMINATION ON THE EFFECT OF SPRINGBACK BY USING DIFFERENT PUNCH DESIGN AND BENDING METHODS	Ramazan ÖTÜ, Halil İbrahim DEMİRCİ	123-128
ISIDE14-MTD-20	THERMO-MECHANICAL RELIABILITY OF LEAD-FREE SOLDER JOINTS IN FLIP CHIP PACKAGE FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS	Emeka H. AMALU, N. N. EKERE, Musa T. ZARMAI	129-133

PAPER ID	TITLE	AUTHORS	PAGE NUMBERS
ISIDE14-MTD-21	DÜZ DİŞLİ ÇARKLAR İÇİN LEWIS FORM FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI BİR YAKLAŞIM A NEURAL NETWORKS BASED APPROACH: DETERMINATION OF LEWIS FACTOR FOR SPUR GEARS	Kürşad DÜNDAR, Ihsan TOKTAŞ, Murat Tolga ÖZKAN	134-141
ISIDE14-MTD-22	SICAK ÇEKME TESTINDE DIGITAL IMAGE CORRELATION TEKNIĞININ UYGULANABILIRLIĞININ İNCELENMESI INVESTIGATION PRACTICABILITY OF DIGITAL IMAGE CORRELATION TECHNIQUE TO HIGH TEMPERATURE TENSILE TEST	Murat AYDIN, Jorge CISNEROS, Xin WU, Kerim ÇETİNKAYA	142-146

Product Design Methodologies

ISIDE14-PDM-01	ALÇAK GERİLİM İLETİMİNDE KULLANILAN KONTAKTÖRLEDEKİ SORUNLARI ÖNLEMEK AMACIYLA TASARIM IYILEŞTIRMESİ DESIGN IMPROVEMENT FOR PREVENTION OF PROBLEMS ON THE CONTACTORS USED IN LOW VOLTAGE TRANSMITTING	Cevdet GÖLOĞLU, Hakan MADEN	147-152
ISIDE14-PDM-02	KALITE FONKSIYON YAYILIMI (KFY) ILE ÜRÜN GELIŞTIRME SÜRECI A PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS BY USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)	Cevdet GÖLOĞLU, Beytullah AYDOĞAN	153-158
ISIDE14-PDM-03	OTOBÜS TAVAN HAVALANDIRMA VE AYDINLATMA ÜNİTESİNİN SİSTEMATİK TASARIMI SYSTEMATIC DESIGN OF COACH CEILING VETILATION AND LIGHTING UNIT	Cevdet GÖLOĞLU, İbrahim ÖZYİĞİT	159-163
ISIDE14-PDM-04	POLİAMİD DİŞLİ TASARIMI DESIGN OF POLYAMIDE GEARS	Hilal CAN	164-168
ISIDE14-PDM-05	MAKİNE ELEMANLARI TASARIM VE İMALATINDA YENİ MALZEME YAKLAŞIMLARI NEW MATERIAL APPROACHES TO DESIGN AND MANUFACTURING OF MACHINE ELEMENTS	Arzum ULUKÖY	169-173
ISIDE14-PDM-06	ARTCAM ILE KEMER DESEN KALIP ZIMBA TASARIM VE ÜRETIMI BELT PATTERN DIE PUNCH DESIGN AND MANUFACTURING BY ARTCAM	Halil İbrahim DEMİRCİ	174-177
ISIDE14-PDM-07	YUVA KAPAĞININ ÜRÜN KALIPLAMA ANALIZI VE KALIP TASARIMI DESIGN ANALYSIS AND MOULD DESIGN OF HOUSING COVER PRODUCT	Cevdet GÖLOĞLU, Hakan MADEN, Ömer Şaban KAMBER	178-183
ISIDE14-PDM-08	MİNERAL KARTUŞ FİLTRE VE MİNERAL FİLTRELİ SÜRAHİ TASARIMLARININ İÇME SUYU ÜZERİNE ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI COMPRASIONS OF EFFECTS OF MINERAL CARTRIDGE FILTER AND MINERAL FILTER PITCHER DESINGS ON DRINKING WATER	Ömer Şaban KAMBER, Haydar UĞUR	184-188
ISIDE14-PDM-09	HACİM KRİTERİNE GÖRE MATRİS TEMELLİ MONTAJ SIRASI PLANLAMA SİSTEM TASARIMI MATRIX-BASED ASSEMBLY PLANNING SYSTEM REGARDING VOLUME CRITERION	Özkan ÖZMEN , Tolga ÖZEN, Cem SİNANOĞLU	267-273

Vehicle Design

ISIDE14-VD-01	UÇAK MODERNİZASYONUNDA YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANIMIYLA BUZLANMA TAHMİNİ ICING PREDICTION MODEL USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR AIRCRAFT MODERNIZATION	Serhat FENAR , Hamdi ERCAN, Sezai Alper TEKİN	189-192
ISIDE14-VD-02	KRANK MİLİNİN MODELLEME VE ANALİZİNİN CATIA PROGRAMINDA YAPILMASI MODELING AND ANALYSIS OF A CRANKSHAFT BY 3D CAD DESIGN SOFTWARE CATIA	L. ÖZKAN, F. ÖZKAN, Ş.AYKUT	193-197
ISIDE14-VD-03	MOTOR BAĞLANTI KULAĞI OPTİMİZASYONU OPTIMIZATION OF ENGINE MOUNTING BRACKET	L. ÖZKAN, F. ÖZKAN, Ş. AYKUT	198-201
ISIDE14-VD-04	SÜSPANSİYON SİSTEMİ İÇİN POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY TASARIMI VE İMALATI POLYMER COMPOSITE LEAF SPRING DESIGNING AND MANUFACTURING FOR SUSPENSION SYSTEM	Oğuzhan BİLDİK, Birhan IŞIK	202-205

PAPER ID	TITLE	AUTHORS	PAGE NUMBERS
ISIDE14-VD-05	KENDİNDEN DENGELİ BİNEK TASARIM VE İMALATI RIDING SELF-BALANCED DESIGN AND MANUFACTURING	Cevdet GÖLOĞLU, Bünyamin SAĞIR, Fatih UZUN, Kamil CAN, Musa KANKAL, Mehmet Salih BATMAZ	206-209
ISIDE14-VD-06	BİR ARAZİ (OFF-ROAD) ARACI SÜSPANSİYON SİSTEMİNİN DİNAMİK ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU DYNAMIC ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF AN ALL TERRAIN VEHICLE (OFF-ROAD) SUSPENSION SYSTEM	Mehmet ÇALIŞKAN ve Esat BAYRAM	210-216

Biomedical and Sport Equipment Design

ISIDE14-BSE-09	BACAK EKLEMLERİ VE KASLARININ REHABİLİTASYONU İÇİN MEDİKAL DESTEK ÜNİTESİ TASARIM VE İMALATI DESIGN AND MANUFACTURE OF A MEDICAL SUPPORT UNIT FOR REHABILITATION OF LEG JOINTS AND MUSCLES	Cevdet GÖLOĞLU, İclal KURT, Ahmet Fırat AKYAZ, Aşkın KİRENLİ	217-220
ISIDE14-BSE-10	DESIGN OF CONTEMPORARY SCHOOL CHAIR	Danijela DOMLJAN, Zoran VLAOVİC, Ivica GRBAC	221-224
ISIDE14-BSE-11	ENGELLİ İNSANLAR İÇİN ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI ELECTRIC VEHICLE DESIGNED FOR PEOPLE WITH DİSABILITIES	Mustafa BOZDEMİR	225-229
ISIDE14-BSE-12	DESIGN AND OPTIMISATION OF A POWER-OPERATED VERTICAL LIFTING PLATFORM FOR PERSONS WITH IMPAIRED MOBILITY	Ahmet CAN	230-234

Environmental System Design

ISIDE14-ESD-01	AHŞAP YEL DEĞİRMENİNİN TASARIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA A RESEARCH ON THE DESIGN OF WOOD WINDMILLS	Yasin DÖNMEZ, Hüseyin YÖRÜR, Şeref KURT	235-238
ISIDE14-ESD-02	EMPRENYESİ GÜÇ AĞAÇ MALZEMELERDE RETENSİYONU ARTIRICI İŞLEMLER VE SİSTEM TASARIMI PROCESSES TO İNCREASE RETENTİON İN MATERİALS OF WOOD WHOSE İMPREGNATİON İS DİFFİCULT, AND SYSTEM DESİGN	Şeref KURT, Hüseyin YÖRÜR, Süleyman ÖZCAN, Mustafa KORKMAZ, Yasin DÖNMEZ, Muhammed Nuri GÜNAY	239-243
ISIDE14-ESD-03	TARİHİ VE TURİSTİK MEKANLAR İÇİN AHŞAP OTO KORKULUK TASARIMI WOODEN AUTO GUARDRAIL DESIGN FOR HISTORICAL AND TOURISTIC AREAS	Hüseyin YÖRÜR, H. İbrahim YUMRUTAŞ, Şeref KURT, Yasin DÖNMEZ	244-247
ISIDE14-ESD-04	DESIGN OF AN AUTOMATIC MICROREACTOR SYSTEM FOR CATALYTIC GAS PHASE REACTIONS	Menderes LEVENT	248-253
ISIDE14-ESD-05	ATÖLYEDE KÜÇÜK ÖLÇEKLİ GÜNEŞ MODÜLLERİ ÜRETİMİ İÇİN LAMİNASYON CİHAZI TASARIMI VE İRDELENMESİ EVALUATION AND DESIGN OF LAMINATION DEVICE TO PRODUCE SMALL-SCALE SOLAR MODULES IN WORKSHOP ENVIRONMENT	Osman ÇİÇEK, Mustafa GÖKDAĞ, M. Tahir GÜNESER, Erzat ERDİL, Yaşar YETİŞKEN	254-258
ISIDE14-ESD-06	RECYCLING DESIGN OF E-WASTE SLUDGE FOR SAFE DISPOSAL	Tahir Imran QURESHI	259-262
ISIDE14-ESD-07	SUDAN AL HALFAIA ÇELİK KÖPRÜ İMALATI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME AN ASSESMENT ON SUDAN AL HALFAIA STEEL BRIDGE PRODUCTION	K. Kenan SUNGUR, Ahmet COŞKUN, Mustafa Refik METLİOĞLU, Pelin G. ÖZDEMİR, Mutlu UZUN	263-266

4-SERBESTLİK DERECELİ GERÇEK BİR SERİ ROBOTUN TERS KİNEMATİĞİNİN QPSO İLE ÇÖZÜMÜ

INVERSE KINEMATICS SOLUTION OF A 4-DOF REAL SERIAL ROBOT MANIPULATOR USING QPSO

Mustafa AYYILDIZ [a] ve Kerim ÇETİNKAYA [b]
[a] Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Düzce, Türkiye, E-posta: mustafaayyildiz@duzce.edu.tr
[b] Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, E-posta: kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada al ve yerleştir (pick and place) işlemleri için bir 4-Serbestlik Dereceli (SD) seri robot mekanizması gerçekleştirilmiştir. Bu robotun kontrolü açısından son dereceli önemli olan ters kinematik denklemi, Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO) algoritması ile çözülmüştür. Uygulama amacıyla gerçekleştirilen robot mekanizmasının uç işlevcisi için üç boyutlu çalışma uzayı içerisinde yer alan 100 nokta tanımlanmıştır. Bu noktalar için ters kinematik problemi çözülürken uç işlevci konumlanma hata oranı < 0,00001 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar bu algoritmanın seri robotların ters kinematik problemlerinin çözümünde hem süre açısından hem de doğruluk açısından yeterli olabileceğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Al ve yerleştir, seri robot, ters kinematik, optimizasyon, QPSO.

Abstract

In this study, a 4-Degree Of Freedom (DOF) serial robot mechanism was designed and realized for pick and place operations. Inverse kinematics equation that is one of the most important part of control process of the mechanism was solved by using Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO) algorithm. One hundred random selected workspace points were used to show the effectiveness of the algorithm. The position error for end effector of the mechanism for these points was defined as < 0.00001. Obtained results shown that the algorithm can be used efficiently for solving the inverse kinematics problem of serial robot manipulators in terms of both processing time and accuracy.

Keywords: Pick and place, serial robot, inverse kinematics, optimization, QPSO.

1. Giriş

Günümüz endüstrisinde seri robotlar al ve yerleştir uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu robotların hareketini tanımlarken kullanılan robot kinematiği, temel olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunlardan ileri kinematik, robotun katı gövdesine ilişkin parametreler ve eklem değişkenleri verildiğinde robotun uç işlevcisinin üç boyutlu uzayda konum ve yönelimini belirlemek için kullanılırken; ters kinematik ise robotun uç işlevcisinin konum ve yönelim parametreleri verildiğinde robotun eklem değişkenlerini bulmak için kullanılmaktadır. Seri robotların ileri kinematiğinin çözümleri oldukça basit ve tek çözümlü olmasına rağmen ters kinematik problemlerinin çözümü hem zor hem de birden fazla çözüme sahip olabilmektedir. Bu problemin çözümü için literatürde birçok farklı yöntem mevcuttur [1]. Seri robotların kontrolü açısından son derece önemli olan ters kinematik problemi analitik olarak çözülmek istendiğinde genellikle çok fazla işlem yükü ve işlem süresi gerektirmektedir. Bunun nedeni bu problemin hem doğrusal olmayan denklemler içermesi, hem de manipülatörün eklem sayısına ve yapısına bağlı olarak artan muhtemel çözüm sayısıdır. Bu nedenle seri robotların ters kinematik problemi çözülmesi oldukça zor problemlerdir [2]. Bu durum özellikle gerçek zamanlı manipülatör kontrolünde istenmeyen bir durumdur.

Seri robotların ters kinematik problemlerin çözümü için birçok araştırmacı farklı yöntemler ortaya koymuşlardır. Parker ve arkadaşları, karmaşık olan ters kinematik problemleri genetik algoritma ile çözümlerinin mümkün olabileceğini araştırmışlardır [3]. Aynı şekilde Chocron ve Bidaud yaptıkları çalışmada evrimsel algoritma ile ters kinematik problemlerin çözümünü irdelemişlerdir [4]. Toz ve arkadaşları 6-SD'li puma robot için ters kinematik problemleri iki farklı sezgisel optimizasyon yöntemi olan genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonu kullanılarak çözmüşlerdir [5].

Ters kinematik problemlerine alternatif bir çözüm olması için bu çalışmada 4-SD'li bir seri robot mekanizmasının kinematiği incelenmiştir. Bu amaçla seri robotun ters kinematiği QPSO algoritması kullanılarak çözülmüştür.

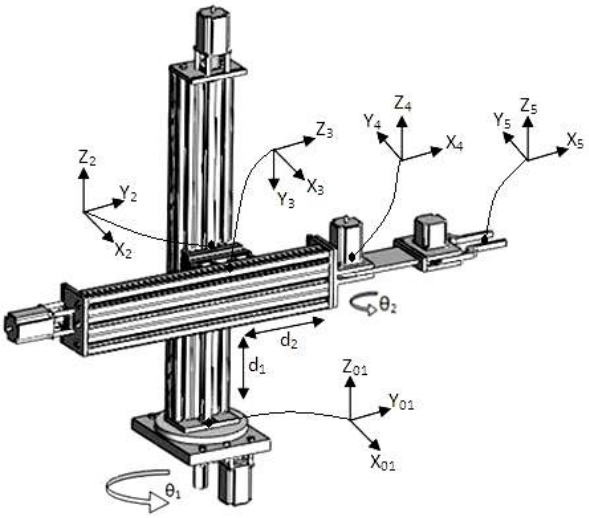
2. Gerçekleştirilen 4-SD'li Seri Robot Mekanizması

Bu çalışmada gerçekleştirilen seri robot mekanizması, esnek üretim sisteminde nesnelerin algılanması ve tanımlanan nesnelerin robot ile tutularak depolanmasını amaçlayan bir sistemin parçasıdır. Şekil 1'de bu robot mekanizmasının gerçek görüntüsü yer almaktadır.

Gerçekleştirilen robot mekanizması içinde yer aldığı sistemin gerektirdiği al ve yerleştir işlemlerinin yapabilmesi amacıyla bir silindirik çalışma uzayına sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Mekanizmanın katı gövde yapısı ve her bir eklemine yerleştirilmiş koordinat sistemleri şekil 2'de gösterilmiştir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Şekil 1. Gerçekleştirilen 4-SD'li seri robot mekanizması



Şekil 2. Mekanizmanın katı gövde yapısı ve koordinat sistemi yerleşimi

Şekil 2'de görüldüğü gibi robot mekanizması 2 dönel ve 2 prizmatik eklemden oluşmuştur. Bu nedenle 4-SD'ne sahiptir. Uç işlevcide yer alan tutucu aparat SD hesabı dışında tutulmuştur. Mekanizmanın eklem yapısı RPPR (R:Dönel eklem, P:Prizmatik eklem) şeklindedir. Şekilde θ_1, θ_2 ve d_1, d_2 sırasıyla birinci ve dördüncü dönel eklemler ile ikinci ve üçüncü prizmatik eklem değişkenleridir. Verilen koordinat sistemleri kullanılarak mekanizmaya ait DH (Denavit-Hartenberg) parametreleri Çizelge 1'de verildiği gibi elde edilmektedir.

Çizelge 1'de *i* eklem sırasını gösterirken, uzunluklar mm cinsinden, açılar ise radyan cinsinden verilmiştir. DH değişkenleri kullanılarak robot mekanizmasının ileri yönlü kinematik denklemlerinin elde edilebilmesi için aşağıda verilen genel dönüşüm (transformasyon) matrisi kullanılabilir [6].

Çizelge 1 DH parametreleri

i	α_i-1	a_i-1	d_i	θ_i
1	0	0	0	θ_1
2	0	60	d_1	0
3	-π/2	0	d_2+145	0
4	π/2	23,5	0	θ_2+ π/2
5	0	360	0	0

Denklem (1)'deki *C* kosinüs, *S* sinüsü ifade etmektedir. DH parametreleri sırasıyla Denklem (1)'de verilen dönüşüm matrisinde yerine konulursa mekanizmanın her bir eklemi için gerekli ileri yön dönüşüm matrisleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_{i-1}^{i} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i & 0 & a_i \\ S\theta_i C\alpha_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i & -d_i S\alpha_i \\ S\theta_i S\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & C\alpha_i & d_i C\alpha_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

1. Eklem için (i=1), $T_{i-1}^{i} = T_0^1$,

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} C\theta_1 & -S\theta_1 & 0 & 0 \\ S\theta_1 & C\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

2. Eklem için (i=2), $T_{i-1}^{i} = T_1^2$,

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 60 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

3.Eklem için (i=3), $T_{i-1}^{i} = T_2^3$,

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 145 + d_2 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. Eklem için (i=4), $T_{i-1}^{i} = T_3^4$,

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} C(\pi/2+\theta_2) & -S(\pi/2+\theta_2) & 0 & 47/2 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ S(\pi/2+\theta_2) & S(\pi/2+\theta_2) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Son olarak uç işlevci için (i=5), $T_{i-1}^{i} = T_4^5$,

$$T_4^5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 360 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

Denklemler (2-6)'da verilen matrislerin ileri yönlü çarpılmasıyla mekanizmanın eklem değişkenleri (θ_1, θ_2, d_1, d_2) verildiğinde uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konum ve yönelimini ifade eden ileri kinematik matrisi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$T_0^5 = \begin{bmatrix} T_{(1,1)} & T_{(1,2)} & 0 & T_{(1,4)} \\ T_{(2,1)} & T_{(2,2)} & 0 & T_{(2,4)} \\ 0 & 0 & 1 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Denklemde;

$$T_{(1,1)} = C\theta_1 C(\pi/2+\theta_2) - S\theta_1 S(\theta_2+\pi/2)$$
$$T_{(1,2)} = -C\theta_1 S(\theta_2+\pi/2) - C(\theta_2+\pi/2)S(\theta_1)$$
$$T_{(1,4)} = 360C(\theta_1)C(\theta_2+\pi/2) - S\theta_1(145+d_2) + (167C\theta_1)/2 - 360S\theta_1 S(\theta_2+\pi/2))$$
$$T_{(2,1)} = C\theta_1 S(\pi/2+\theta_2) + S\theta_1 C(\theta_2+\pi/2)$$
$$T_{(2,2)} = C\theta_1 C(\theta_2+\pi/2) - S(\theta_2+\pi/2)S(\theta_1)$$
$$T_{(2,4)} = 360C(\theta_1)S(\theta_2+\pi/2) + (167S\theta_1)/2 + 360C(\theta_2+\pi/2)S\theta_1 + C\theta_1(145+d_2)$$

Denklem (7)'de verilen T_0^5 matrisinin ilk 3 satır ve sütununda yer alan 3x3'lük matris uç işlevcinin yönelim matrisini verirken, son sütunun ilk 3 elemanı da uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konumunu vermektedir. Aşağıda uç işlevci konumu ayrı bir denklem ifade edilmiştir.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_{(1,4)} \\ T_{(2,4)} \\ d_1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Mekanizmanın ters kinematik denklemlerinin çözülebilmesi için denklem (8)'deki eşitliğin son tarafı verildiğinde sağ tarafında kalan eklem değişkenlerinin bulunması gerekmektedir. Ancak denklem (7)'de de görüldüğü gibi uç işlevcinin X ve Y eksenlerindeki konumuna karşılık gelen $T_{(1,4)}$ ve $T_{(2,4)}$ denklemleri üç bilinmeyen değişken (θ_1, θ_2, d_2) içermektedir. Bu üç bilinmeyen değişkenin bulunabilmesi için en az üç bağımsız denklem gerekirken sadece iki denklem bulunmaktadır. Sonuç olarak mekanizmanın ters kinematiğinin tam olarak çözülebilmesi (tek çözüm elde edilmesi) analitik olarak mümkün olmamaktadır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen 4-SD'li seri robot mekanizmasının ters kinematiğinin çözülebilmesi için bir sezgisel optimizasyon yöntemi olan QPSO algoritması kullanılmıştır.

3. Quantum Particle Swarm Optimizasyon Algoritması

QPSO algoritması Kennedy ve Eberhart [7-8] tarafından geliştirilen standart PSO algoritmasının gelişmiş halidir. PSO algoritması canlıların sürü halinde yiyeceğe ulaşması temeline dayanır. Bu algoritmada problem çözümü için tanımlanan her bir aday çözüm sürüdeki bir canlıya karşılık gelir. QPSO algoritması standart PSO algoritmasının en önemli problemlerinden biri olan lokal minimuma takılma problemini çözmek için geliştirilmiştir. Bu algoritma standart PSO 'dan farklı olarak mekanikteki kuantum kanunlarına dayanır [9].

Bu çalışmada kullanılan QPSO formülleri aşağıdaki gibidir [9-10];

$$P = (r_1 * p_i^t + r_2 * g^t)/(r_1 + r_2) \quad (9)$$

$$N_i^{t+1} = P + \beta * \left|M_b - N_i^t\right| * ln\left(\frac{1}{w}\right) \ \ Eğer\ w \geq 0{,}5 \quad (10)$$

$$N_i^{t+1} = P - \beta * \left|M_b - N_i^t\right| * ln\left(\frac{1}{w}\right) \ \ Eğer\ w < 0{,}5 \quad (11)$$

$$M_b = 1/X \sum_{i=1}^{X} p_i^t \quad (12)$$

Denklemlerde *X* problem çözümünde kullanılan popülasyondaki aday çözüm sayısını, p_i^t her bir çözümün *t* anına kadar elde ettiği en iyi amaç fonksiyon değerine ulaşmasını sağlayan konum bilgisini, g^t ise tüm popülasyon içerisinde elde edilen en iyi amaç fonksiyona sahip aday çözümün konum bilgisini ifade etmektedir.

Ayrıca denklem (9)'da yer alan *P* değeri QPSO 'ya özgü olarak her bir aday çözümün bölgesel çekim merkezi koordinatları olarak tanımlanmaktadır. r_1, r_2 ve w ise [0-1] kapalı aralığında rastgele seçilmiş sayılardır. Denklem (10) ve (11)'de yer alan N_i^{t+1} ifadesi *i.*'ci aday çözüm için *t+1* anındaki konum bilgisini, β ise yine QPSO' ya özgü olarak daralma-genişleme katsayısı şeklinde tanımlanan bir katsayıdır. Bu çalışmada aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$\beta = e^{0{,}05*(1000-t)/t} \quad (13)$$

Son olarak M_b ise tüm popülasyonun *t* anına kadar elde etmiş olduğu en iyi konum bilgilerinin ortalamasını ifade etmektedir (t = 0, 1, 2, ….. döngü sayısı).

4. Problem Tanımı ve Amaç Fonksiyon

4.1. Problem Tanımı

Bu çalışmada çözülmesi gereken problem gerçekleştirilen 4-SD'li seri robot mekanizmasının uç işlevcisinin 3 boyutlu uzayda belirlenmiş bir noktaya gidebilmesi için gerekli olan eklem değişkenlerinin bulunmasıdır. Bu hedefi gerçekleştirmeye yönelik amaç fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

4.2. Amaç Fonksiyon

Belirlenen problemin çözülebilmesi için uç işlevcinin 3 boyutlu uzaydaki konumunu bulmaya yarayan ileri yönlü

kinematik denklemi (Denklem (7)) kullanılmıştır. Bu denklemin kullanılmasıyla oluşturulan amaç fonksiyon aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

Problem tanımında verildiği gibi uç işlevcisini istenilen konuma getiren eklem değişkenlerini bulabilmek için ilk önce aday çözüm olarak seçilen eklem değişkenleri seti denklem (7)'de yerine konularak aday konum vektörü elde edilir. Elde edilen bu vektör ile hedef konum vektörü arasındaki uzaklık hata olarak kabul edilirse amaç fonksiyon bu hatanın minimize edilmesi şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadeler aşağıdaki gibi formülize edilebilir.

$$E_i = \sqrt{(A_X - H_X)^2 + (A_Y - H_Y)^2 + (A_Z - H_Z)^2} \qquad (14)$$

Denklemde verilen $A=(A_X, A_Y, A_Z)$ aday eklem değişkenlerinin denklem 7'de yerine konulması ile elde edilen konum vektörünü, $H=(H_X, H_Y, H_Z)$ ise hedef uç işlevci konumunu ifade etmektedir. Son olarak E_i, i.'ci aday konum vektörü için hesaplanan hata miktarıdır. Buna göre nihai amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$f_i = E_i \qquad (15)$$

Bu çalışmada herhangi bir eklem değişkeni setinin nihai çözüm olarak kabul edilebilmesi için denklem (10)'da verilen E_i'nin aşağıda verilen şartı sağlaması gerekir.

$$E_i < 0{,}00001 \text{ mm} \qquad (16)$$

Yukarıda verilen şartın sağlanması ile mekanizmanın ters kinematik çözümünün hedeflenen uç işlevci konumu için en az 0,00001 mm hassasiyetle bulunması sağlanmaktadır.

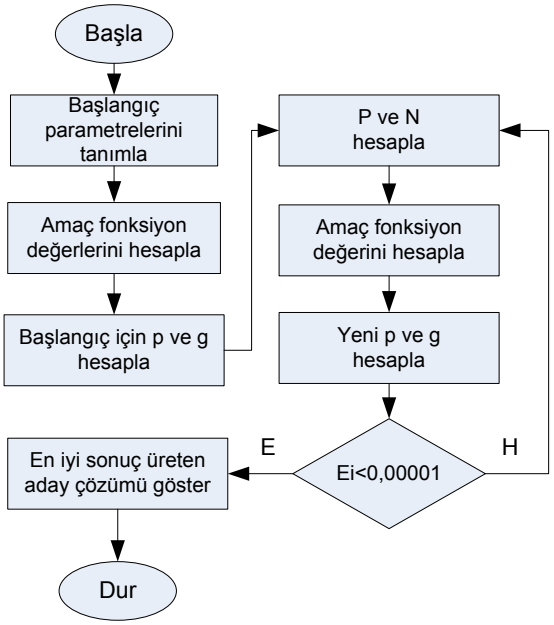
Denklem (15)'de verilen amaç fonksiyonunun gerçekleştirilebilmesi için kullanılacak swarm yapısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$S = \begin{bmatrix} \theta_{1,j} & d_{1,j} & d_{2,j} & \theta_{2,j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{1,n} & d_{1,n} & d_{2,n} & \theta_{2,n} \end{bmatrix} \qquad (17)$$

Denklemde S problem çözümünde kullanılan swarm yapısını, n ise bir swarmda bulunan aday çözüm sayısını göstermektedir (j=1, 2, …n). Denklem (17)'de verilen parametreler için sınır değerleri aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned} &-\pi/2 \le \theta_{1,j} \le \pi/2 \\ &0 \le d_{1,j} \le 360 \\ &0 \le d_{2,j} \le 360 \\ &-\pi/2 \le \theta_{2,j} \le \pi/2 \end{aligned} \qquad (18)$$

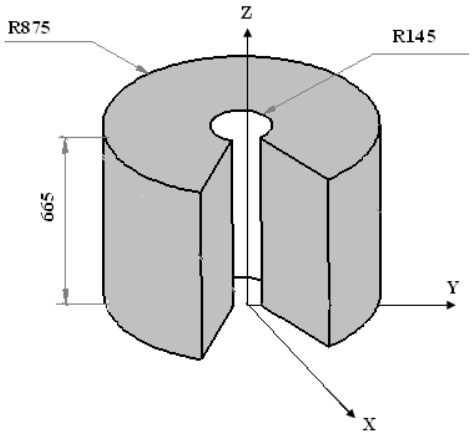
Son olarak problemin QPSO ile çözülmesi için kullanılan durdurma kriteri olarak denklem (17)'de verilen minimum hata miktarı kullanılmıştır. Algoritma en iyi çözüm bu hata miktarına ulaşıncaya kadar çalışacak ve ulaştığında bu şartı sağlayan aday çözümü nihai çözüm olarak üretmektedir. QPSO ile ters kinematik denklemin çözümünü gösteren akış şeması aşağıdaki şekilde verilmiştir.



Şekil 3. Probleme özgü QPSO akış şeması

5. Örnek Uygulama

Geliştirilen 4-SD'li seri robot mekanizmasının ters kinematik probleminin yukarıda sunulan amaç fonksiyon ve QPSO algoritması ile çözümünün sağlanması amacıyla aşağıda örnek çizimi verilen 3 boyutlu çalışma uzayı içerisinde (Şekil 4) yer alan 100 farklı nokta rastgele seçilmiştir. Seçilen noktalar şekil 5' de gösterilmiştir.

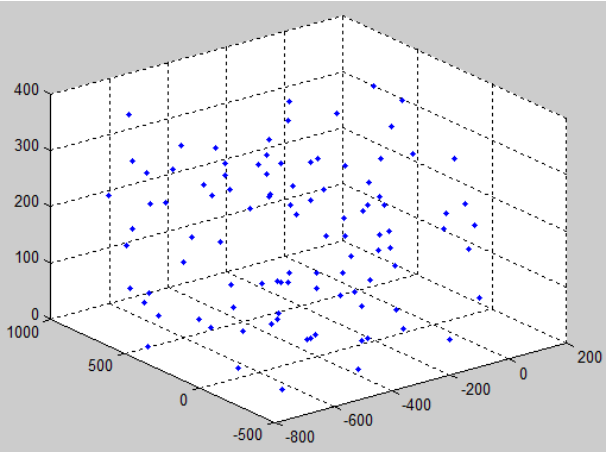


Şekil 4. Çalışma uzayı

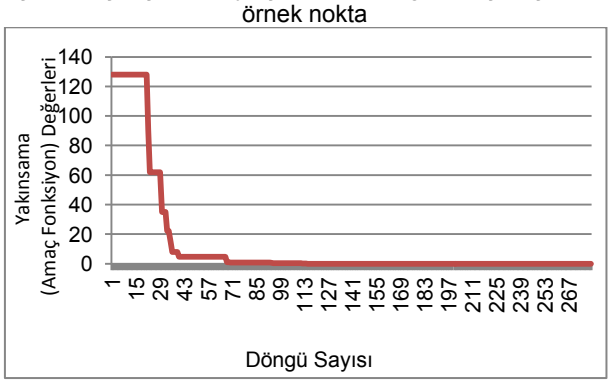
Şekil 5'de yer alan her bir nokta için QPSO algoritması 200 elemanlı bir popülasyon kullanılarak peş peşe çalıştırılmıştır. Bu noktalardan birisi için (H=(-60, 500, 290)) örnek problem çözümü için elde edilen döngü sayısı-yakınsama grafiği aşağıda verilmiştir. Grafikte de görüldüğü gibi QPSO algoritması gerçekleştirilen mekanizma için ters kinematik problemini 280 döngü sayısı sonunda çözmüştür.

Ters kinematik problemin gerçek bir robot mekanizması için çözümünde en önemli faktörlerinden birisi probleminin çözüm süresidir. Bu çalışmada gerçekleştirilen mekanizmanın ters kinematik problemi şekil 5'de verilen 100 örnek nokta, 3,1 GHz işlemci ve 4 Gb ram

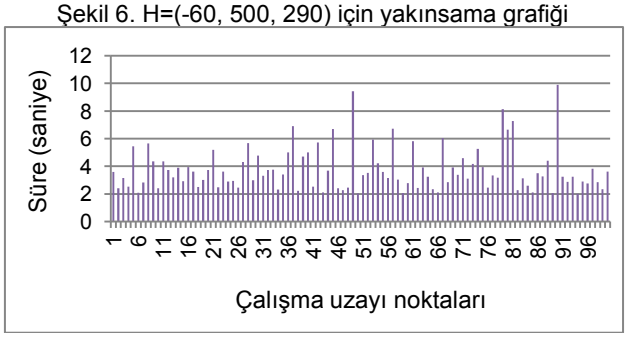
özelliğindeki bir bilgisayar kullanılarak çözülmüştür. Bu çözümlerinin gerçekleşme süreleri aşağıdaki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 5. Çalışma uzayı içerisinde rastgele seçilmiş 100 örnek nokta



Şekil 6. H=(-60, 500, 290) için yakınsama grafiği



Şekil 7. 100 örnek nokta için zaman grafiği

Grafiğe göre gerçekleştirilen mekanizmanın ters kinematik problemi bu çalışmada verilen amaç fonksiyon ve QPSO algoritması kullanılarak minimum 2,0079 saniyede, maksimum ise 9,89 saniyede 0,00001 mm hata oranı ile çözülmüştür.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde QPSO algoritması gerçekleştirilen seri robot mekanizmasının ters kinematik probleminin çözümü için hem yakınsama değeri hem de çözüm süresi açısından kabul edilebilir sonuçlar üretmiştir.

6. Sonuçlar

Bu çalışmada 4-SD'li seri robot mekanizmasının al ve yerleştir işlemleri için bir manipülatör gerçekleştirilmiştir. Bu robotun ters kinematik denklemi, standart PSO 'dan farklı olarak mekanikteki kuantum kanunlarına dayanan Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO) algoritması ile çözülmüştür. Uygulama amacıyla gerçekleştirilen robot mekanizmasının uç işlevcisi için üç boyutlu çalışma uzayı içerisinde yer alan 100 nokta tanımlanmıştır. Bu noktalar için ters kinematik problemi çözülürken uç işlevci konumlanma hata oranı<0.00001 mm olacak şekilde belirlenmiştir. Gerçekleştirilen mekanizmanın ters kinematik problemi bu çalışmada verilen amaç fonksiyon ve QPSO algoritması kullanılarak minimum 2,0079 saniyede, maksimum ise 9,89 saniyede çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde QPSO algoritması gerçekleştirilen seri robot mekanizmasının ters kinematik probleminin çözümü için hem yakınsama değeri hem de çözüm süresi açısından kabul edilebilir sonuçlar üretmiştir.

Teşekkürler

Yazarlar, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Başkanlığına, KBÜ-BAP-11-2-DR-001 nolu projeye finansal desteklerinden dolayı teşekkürlerini sunmaktadırlar.

Kaynaklar

[1] Küçük, S. and Bingül, Z., Robot Kinematics: Forward and Inverse Kinematics, In: Industrial Robotics: Theory, Modelling and Control, 2006.

[2] Karahan, O., Seri ve paralel robotlarda parçacık sürü optimizasyonu ile yörünge kontrolörü tasarımı, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

[3] Parker, K., Khoogar, A. R. and Goldberg, D.E., Inverse kinematics of redundant robots using genetic algorithms, In Proc of IEEE ICRA, pp. 271- 276, 1989.

[4] Chocron, O. and Bidaud, P., Evolutionary algorithms in kinematic design of robotic systems. In Proc ofIROS'97, pp. 1111- 1117, 1997.

[5] Toz, M., Erdoğmuş, E. And Şahin, İ., A new educational toolbox for solving robotic optimization problems using GA and PSO, Journal of New World Sciences Academy, vol.6, no, 4, pp. 1630-1644, 2011.

[6] Craig, J. J., Introduction to Robotics Mechanics and Control, Third Edition, Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey, 2005.

[7] Eberhart, R. and Kennedy, J., A New Optimizer Using Particle Swarm Theory, In Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, pp. 39-43, 1995.

[8] Kennedy J and Eberhart R Particle Swarm Optimization, In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, pp.1942-1948, 1995.

[9] Jamalipour, M., Gharib. M., Sayareh, R. and Khoshahval, F., PWR power distribution flattening using Quantum Particle Swarm intelligence, Annals of Nuclear Energy, vol. 56, pp.143–150, 2013.

[10] Sun, J., Xu, W., Feng, B., Adaptive parameter control for quantum-behaved particle swarm optimization on individual level, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 4, pp. 3049 – 3054, 2005.

BEŞ EKSENLİ BEŞİK SİSTEMLİ CNC TASARIMI VE İMALATI

DESIGN AND MANUFACTURING OF A FIVE-AXIS CRADLE CNC

Memet Sıdık Gün [a], Hüseyin Kaygısız [b] ve Kerim Çetinkaya [c]
[a] Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, E-posta: turevmekatronik@gmail.com
[b] US Mekatronik Ltd. Şti, Ankara, Türkiye, E-posta: huseyinkaygisiz@hotmail.com
[c] Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, E-posta: kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Beş eksen işleme operasyonları havacılık, savunma imalat sanayi, otomotiv, kalıpçılık ve medikal sektörlerinde karmaşık yüzeylerin imalatında sıklıkla kullanılır. Havacılık imalat sanayi yoğun olarak beş eksen CNC tezgah kullanımını gerektirir. Hem yapısal parçaların imalatında hem de motor parçalarının imalatında simültane ve indeksli beş eksen imalat metotları sıklıkla kullanılır. Tıp dünyasında CNC ile implant ve protez imalatı gibi imalat konularında gelişim medikal imalat sanayinde her geçen gün artmaktadır. CNC işleme makineleri genellikle hareket eksen sayılarına göre tanımlanırlar. Üç eksen işleme makinesi, üç lineer eksende hareket sağlarken; beş eksen işleme makinesi, üç lineer eksen ve iki rotasyon eksen sayesinde yüksek kalitede kompleks yüzeyleri işleme olanağı sağlar. Üç eksen teknolojisine yatırımların, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte beş eksen teknolojisine doğru yönlendirilmiştir.

Piyasada satılan 5 eksenli tezgahlar incelendiğinde; sanayi için üretilmiş, pahalı, ağırlıklı olarak yurt dışından ithal edilen, fiyat, tamir, yedek parça ve bakım masrafları yüksek tezgahlar oldukları görülmektedir. Bu özelliklerinden dolayı hassas ve düşük boyut ve kapasiteli imalat yapan KOBİ ler bu teknolojileri yeterince kullanamamaktadırlar. KOBİ lerin CNC edinmelerindeki en büyük engel maliyet yükü ve nitelikli eleman sıkıntısıdır. Bu engeller eğitimler ve düşük maliyetli CNC temini ile aşılabilir.

Bu çalışmanın amacı, eğitim ve kobilere yönelik düşük maliyetli beş eksenli CNC tezgahlar geliştirmek ve prototiplerini imal etmektir. Bu kapsamda 400, 400, 120 mm (X,Y,Z) eksen kurs boylarına sahip adım motorlar ile tahrik edilen portal tip bir CNC freze tezgahı tasarlanarak imal edilmiştir. CNC'nin gövdesi sac, alüminyum blok ve sigma profiller ile destekli üretilmiştir. Eksenleri lineer bilyeli kızaklar ile yataklanmış ve hareket organı olarak bilyeli vidalı miller kullanılmıştır. Elektronik kontrol ünitesinde L297 - L298 adım motor kontrol entegreli kontrol devreleri imal edilmiş ve CNC Mach3 kontrol programı ile çalıştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: CNC, Masaüstü CNC, 5 Eksenli CNC

Abstract

Five -axis machining operations, aerospace, defense, manufacturing, automotive, mold and medical sectors are often used in the manufacture of complex surfaces. Aviation manufacturing industry requires the use of intensive five-axis CNC machine. As well as in the manufacture of structural parts in the manufacture of engine parts and indexed five axis simultaneous manufacturing methods are often used. In the medical world with CNC manufacturing issues such as the development of implants and prosthesis manufacture medical manufacturing industry is increasing with each passing day . CNC machines are usually defined by the number of axes of motion. Three- axis processing machine, while three linear axes move in; Five- axis machining machine, thanks to three linear axes and two rotary axis complex surface machining allows high quality. Three- axis technology investments, with the advancement of technology is directed towards the five -axis technology.

5-axis machine tools sold in the market are examined; produced for the industry, expensive, mainly imported from abroad, prices, repair, spare parts and maintenance costs are high counters are seen. Due to these characteristics and low precision of size and capacity of small scale enterprises engaged in manufacturing these technologies cannot use enough. CNC acquisition of small-scale enterprises and qualified staff in the biggest obstacle is the lack of cost burden. This prevents training and can be overcome by providing a low cost CNC.

The purpose of this study , education, and small -scale enterprises for low-cost five-axis CNC machine tools is to develop and manufacture prototypes . In this context, 400, 400 , 120 mm (X, Y, Z) axis stroke is driven by stepper motor with a CNC gantry type milling machine was designed and manufactured . The body of CNC sheet metal, aluminum block and assisted with sigma profiles are produced . Linear slides with ball axes beared and movement organs were used as a ball screw shaft . Electronic control unit L297 - L298 stepper motor control with integrated control circuits have been manufactured and CNC control program was operated with Mach3.

Keywords: CNC, Desktop CNC, 5 Axis CNC

1. Giriş

Talaşlı imalat, hammaddeler üzerinden çeşitli takım tezgahları yardımıyla talaş kaldırılarak malzemenin kullanılabilir haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Çok eksenli ve kompleks yapılı CNC tezgahlarla istenilen üç boyutlu parçaları üretmek kolaylaşmıştır. CNC tasarımı, step motor kontrolü ve beş eksenle ilgili bugüne kadar değişik araştırmacılar tarafından değişik zamanlarda çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bunlardan konumuzla ilintili bazılarını özetleyecek olursak;

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Apaydın [1] yaptığı çalışmada adım motorlarının yapısı, çeşitleri, kontrol ve sürücü sistemleri ile dinamik modeli açıklanmıştır. Ayrıca havalandırma sisteminin kapak konumu kontrolü için visual basic programı tasarlanmıştır. RS 232 seri haberleşme portu üzerinden bilgisayar ile kontrolü sağlanmıştır. Yazılım ve mikrodenetleyicilerden faydalanarak konum kontrolü sorunsuz yapılmıştır.

Uygun [2] yaptığı çalışmasında hibrit step motor, sürücüleri, seri ve paralel port bağlantısıyla visual basic programında yazılan program sayesinde kontrol edilmiştir. Programda kullanıcılara her iki kontrol sisteminde de adım, devir, açısal yol ve yön bilgileri ile ara zamanların tablo şeklinde görüntülenip grafiğini çizdirme olanağını da sunmaktadır.

Büyükşahin [3] yaptığı çalışmada üç eksenli CNC freze tezgahı, onu oluşturan parça ve malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. CNC seçim kriterlerine değinilmiştir. Tezgahın üzerine binen tüm kuvvet ve momentler tespit edilip, tüm eksen elemanları için etkileri kontrol edilmiştir. Farklı malzemeleri farklı hızlarda işleme sırasında tezgaha binen yükler hesaplanmış, en ağır şart için tezgah gücü belirlenmiştir. Tespit edilen verilere göre tezgah imal edilmiş ve imal maliyet raporu yazılmıştır.

Tamer [4] yaptığı çalışmada CNC ve benzeri robot sistemlerinde eksen motorları için kullanılan algoritmalar yerine üç boyutlu çizim algoritmalarının kullanılabileceği gösterilmiştir. Model CNC için, yeni bir komut seti oluşturulmuş ve bu komut setinin işlemesi için komut editörü oluşturulmuştur. Bu komut editörü üzerinde komutlar işlenerek oluşturulan simülatör aracılığıyla CNC freze tezgahının yapacağı işler simüle edilmiştir. Motoru süren mikroişlemci ile bilgisayar arasında iletişim seri yapılmıştır. çizim algoritmalarıyla yapılan hareket denetimi ile CNC tezgahlarda iki nokta arasındaki hareket sırasında oluşan yörünge problemi ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca bu problem CNC tezgahlarda kullanılan motorların hız değiştirmesini ortadan kaldırarak sabit hızlı motorlar kullanılarak aynı işlemlerin yapılabileceğini kanıtlamıştır.

Karaçam [5] çalışmada CNC freze tasarımı, adım motor sürücüleri araştırılmış ve mikro adım sürücüler kullanılarak yüksek hızda performansları incelenmiş ve çalışma sonuçları değerlendirilmiştir. Tunç [6] çalışmasında küresel uçlu takım kullanan beş eksen frezeleme süreçleri için tam bir geometrik çözümleme modeli sunulmuştur ve beş eksen süreç modeliyle birlikte kullanılıp süreç benzetimi yapılmıştır. Ayrıca, kesme stratejilerini çeşitli kriterlere göre karşılaştırıp en uygun stratejiyi geliştirilmiştir. Baptista R. ve Simoes J.

Antune [7] çalışmalarında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemişler. Yüzey pürüzlülüğünü incelemek üzere oluşturdukları geometrik model eğimli yüzeylerden, iç bükey yüzeylerden, dış bükey yüzeylerden ve düz yüzeylerden oluşmaktadır. Düz ve küresel olmak üzere iki farklı takım kullanmışlar. İşleme parametresi olarak yanal talaş genişliğini, ilerlemeyi ve ilerleme doğrultusunu seçmişler. Üç ve beş eksen frezeleme yapıp yüzey pürüzlülüklerini ve işleme zamanını ölçmüşler. Sonuç olarak ilerleme doğrultusuna, ilerleme hızına, yanal talaş genişliğine, üç ve beş eksen frezelemeye göre yüzey pürüzlülüğünün nasıl değiştiğini yorumlamışlar.

Çelik [8] çalışmasında beş eksen CNC freze tezgahı ile üretilen eğrisel kavitelerin yüzey pürüzlülüğünün kestirimi için bir yöntem geliştirmiştir. Kesme hızı, diş başı ilerleme ve yanal ilerleme parametreleri dikkate alınarak deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon tekniği kullanılarak frezeleme parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değerini tahmin etmeye yönelik matematiksel bir formül geliştirilmiştir. Test deneyleriyle matematiksel denklemler kontrol edilmiştir.

Kaygısız [9-10] çalışmasında meslek okullarının atölye ve laboratuarlarında okul olanakları ile imal edilebilir düşük maliyetli üç eksenli masaüstü CNC freze tasarlamış, mekanik ve elektronik aksamı ile imal etmiş ve CNC eğitimi için interaktif eğitim programı geliştirmiştir.

Kavala [11] çalışmasında, üniversitenin bünyesinde bulunan ve çalışmayan üç eksenli CNC tezgahı, iki döner eksenli tabla tasarlanıp üretilerek beş eksenli CNC tezgah haline dönüştürülmüştür. Tezgah üzerinde beş fazlı step motorlar bulunmaktadır. Bu motorları ve bir döner eksene alınan dört fazlı step motor için beş fazlı ve dört fazlı step motor sürücüsü tasarımı yapılıp üretilmiştir. CNC tezgah kontrolü için Linux tabanlı EMC (Geliştirilmiş Makine Kontrolörü) kullanılmıştır. EMC içersinde yazılan G kodlar sayesinde iş parçalarını işlemek mümkün hale getirilip aynı anda 5 eksen çalıştırılmıştır.

2. Geliştirilen Sistem

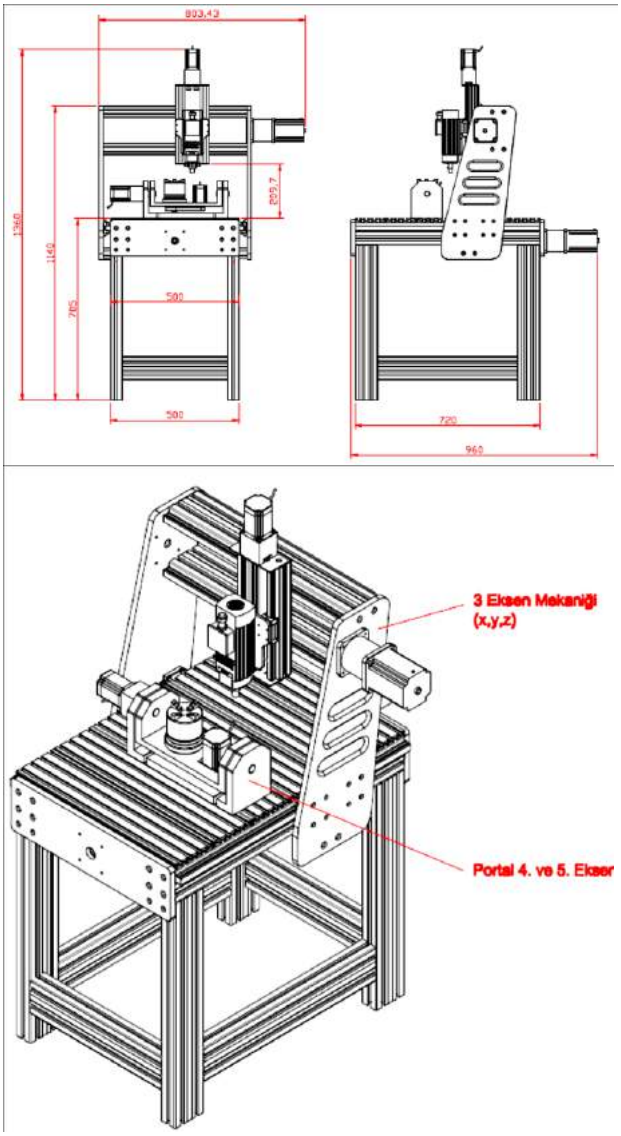
Geliştirilen CNC temel 3 bölümden meydana gelmektedir, bunlar;

- Mekanik sistem
  - 3 Eksen Mekaniği
  - Portal 4. ve 5. Eksen Mekanikleri
- Elektronik kontrol sistem
- Kontrol yazılımı

Mekanik sistem; gövde, kızaklar, vidalı mil ve tahrik elemanları, hareket elemanlarını tahrik eden adım motorlar ve iş milinden oluşmaktadır. Gövde ve ölçüleri Şekil 1'de görüldüğü gibi sac, alüminyum blok ve alüminyum parçalardan oluşmaktadır. Sac ve alüminyum parçalar CNC lazer ve dik işleme tezgahlarında işlenmiştir. Alüminyum parçalar ise standart Sigma profillerden seçilmiştir.

Kızaklar; lineer eksenlerin yataklanmalarını sağlayan parçalardır. CNC tezgahlarda ağırlıklı olarak lineer bilyeli kızak ve mil sistemleri yada lineer bilyeli araba ray sistemleri kullanılır. Bu çalışmada lineer bilyeli araba ray sistemleri kullanılmıştır (Şekil 2).

Vidalı mil ve somunlar; kızaklar ile yataklanmış tabla ve diğer eksenlerin hareket ettirilmesini sağlayan parçalardır. Tasarlanan CNC'nin yapısına göre vidalı mil, triger kayış veya kremayer dişli sistemlerinden biri kullanılabilir. Bu çalışmada FSU 2005 bilyeli vidalı mil ve somun tercih edilmiştir (Şekil 2). Bilyeli milleri yataklamak için ORS 6302 tipi rulmanlar kullanılmıştır.



Şekil 1. Mekanik sistem

Şekil 2. Kızaklar ve Tahrik Elemanları

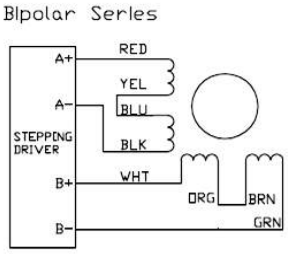
2.1. Adım Motorlar

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyartımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90-45-18-7,5 ve 1,8° veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir. Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Dolayısıyla adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorlar çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde kullanılırlar.

2.1.1. Sistemde Kullanılan Adım Motorlar Ve Özellikleri

Eksenlerde kullanılan motorlar Şekil 3'de, bağlantı şeması Şekil 4'de ve özellikleri Çizelge 1'de görülmektedir;

Şekil 3. Kullanılan Step Motor



Şekil 4. Kullanılan Step Motor

Çizelge 1 Kullanılan Adım Motor Özellikleri

Step Açısı	1.8 Derece
Nema	34
Amper	4.2 A
Induktans	6.76 Mh
Rezistans	0.775 Ohms
Tutma Torku	4.5 N.M
Faz Numarası	2
Ağırlık	2.3 Kg
Uzunluk	80 Mm
Tel Sayısı	8

2.1.2. İş Mili, Kesici Takımlar Ve Takım Tutucular

Geliştirilen CNC tezgahında iş mili olarak Hertz'in HMB52c model frezesi kullanılmıştır. Frezenin özellikleri; 2.2 KWatt, 18.000 dev/dak, 10.6 Amper dir. Freze Şekil 5'de görülmektedir. Frezenin mandren yapısı ER-20 dir. Frezeyi sürmek için Allen Brendley marka 2.5 Kw inventer kullanılmıştır.

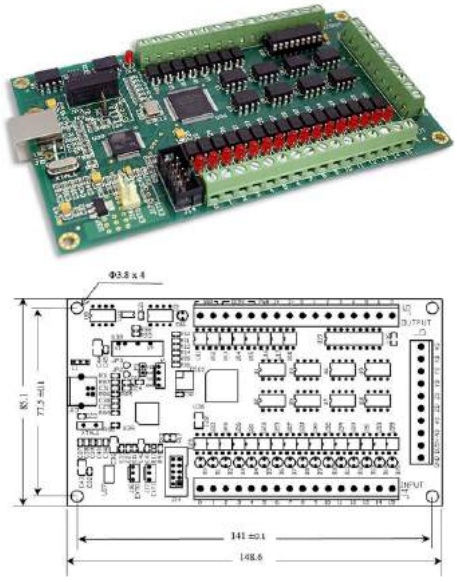
2.2. Elektronik Kontrol Ünitesi

Elektronik kontrol ünitesi kontrol programından aldığı sinyallere göre adım motorları süren; adım motor kontrol devresi ve güç kaynağından oluşmaktadır. Kontrol devresi ile kontrol programının haberleşmesi bilgisayarın USB portu aracılığı ile yapılmaktadır.

Şekil 5. Spindle ve İnventer

2.2.1. USB Arayüz Devresi

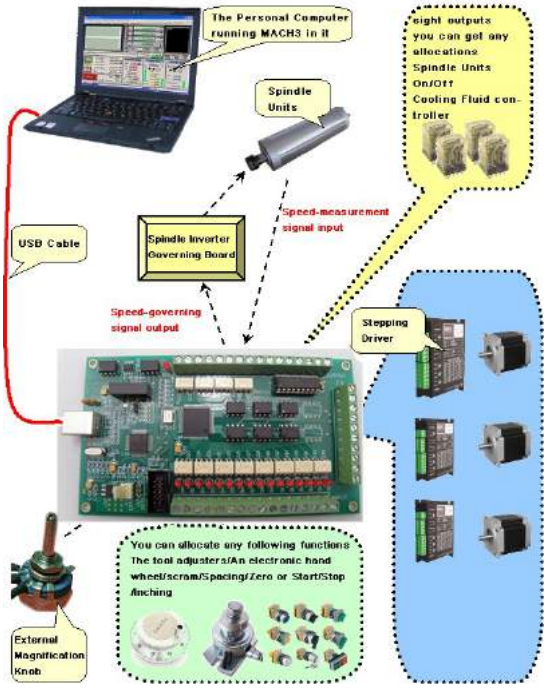
Motor sürücüleri, inventer ve kontrol programının haberleşmesi Şekil 6'da görülen USB arayüz devresi ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de devrenin bağlantıları görülmektedir.



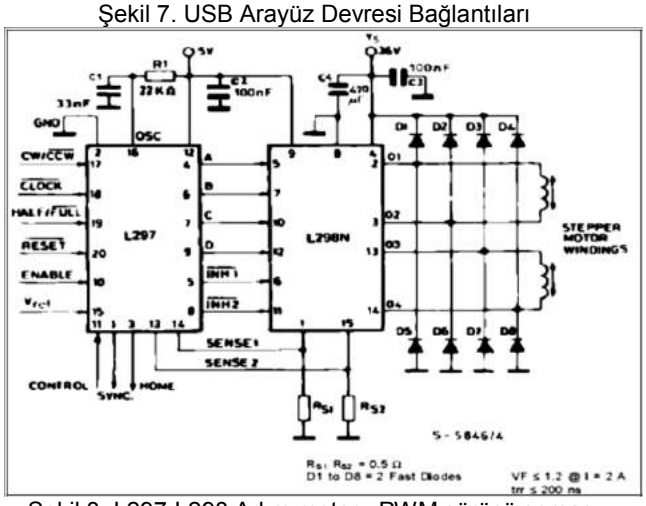
Şekil 6. USB Arayüz Devresi

2.2.3. Kontrol Devresi

Geliştirilen CNC'nin kontrol devresinde L297 – L298 adım motor kontrol entegreleri kullanılmıştır. L297 – L298 tümleşik devreleri oldukça uyumlu çalışın entegrelerdir. Sinyal genişliği ayarlanabilen (PWM) frekans üreterek adım motorları sürmektedir. Bu devre ile motor tam ve yarım adım modlarında sürülebilmektedir. L297 tümleşik devresinin çalışma gerilimi 5 volt olup iki fazlı bipolar ve dört fazlı unipolar adım motorlarını sürmek için gerekli sinyalleri üretmektedir. Bu işlemcinin sürülmesi için aktif sinyalinin 10 nolu pine + 5 volt olarak verilmesi yeterlidir. 17 nolu pin yön bilgisi, 18 nolu pin adım için gerekli olan frekanstaki sinyalleri, 19 nolu pin ise yarım adım tam adım bilgisinin verildiği uçlardır. Eğer sistemde birden çok adım motoru birbiriyle eş zamanlı olarak sürülmek istenirse, bu 1 nolu pine ortak eşzamanlı salınım sinyallerinin bağlantısı ile gerçekleştirilebilir. 3 nolu pin ise sistemin belirlenen noktasının başlangıç noktası (home) olarak tanıtılmasını sağlar (Şekil 8).



Şekil 7. USB Arayüz Devresi Bağlantıları



Şekil 8. L297-L298 Adım motoru PWM sürücü seması

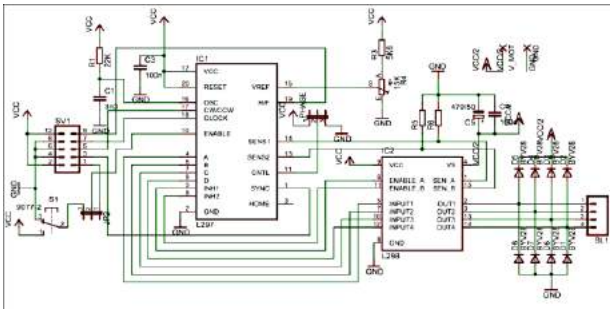
L298 tümleşik devresinin maksimum çalışma gerilimi 50 volt olup 3 ampere kadar motorların akım çekmesine izin vermektedir. Kullanılan devrelerin şema, baskı devre ve yerleşim planları Şekil 9 ve Şekil 10'da görülmektedir;

2.3. Kontrol Yazılımı ve Ayarları

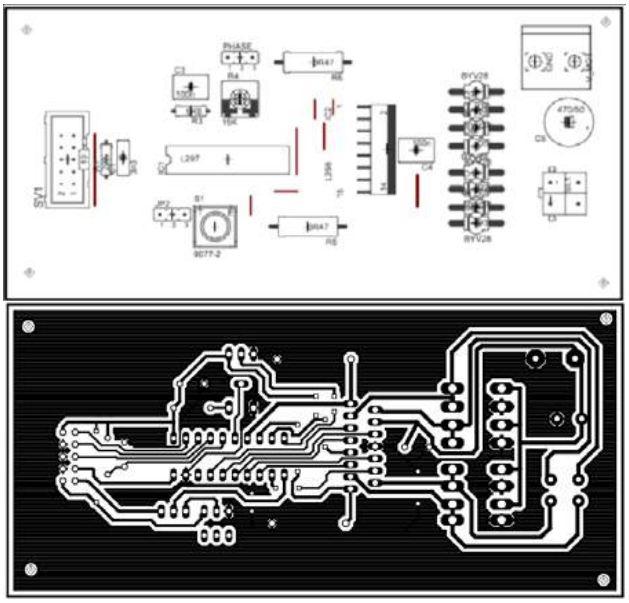
Geliştirilen sistemin Mach3 programı ile kontrol edilmektedir. Mach3 kullanımının kolay oluşu, gelişmiş özellikleri ve ekonomikliği nedeni ile dünya çapında birçok

kullanıcı tarafından tercih edilen bir programdır. Genel olarak bu programın özelliklerine göz atacak olursak;

a. 6 eksene kadar kontrol desteği sağlamaktadır.
b. İçerisinde; dxf, wmf, hpgl, plt, cmx gibi birçok formatı destekleyen G kod üretici CAM programı mevcuttur.
c. Sistemin çalışması esnasında eksen hızları (F) ve Spindle devri (S) değerlerini el ile arttırıp azaltma olanağı sunar.
d. Frezeleme, tornalama, plazma gibi birçok fonksiyonu mevcuttur.
e. Paralel port ve usb portlarına çıkış verebilmektedir.



Şekil 9. L297-L298 Adım Motoru Sürücü Devresi Şeması



Şekil 10. L297-L298 Adım Motoru Sürücü Devresi Baskı Devre Şeması

Kontrol programı ile kontrol kartının uyumu için yapılması gereken ayarlar aşağıda sıralanmıştır.

1. *"Config / Select Native Units"* menüsünden kullanılacak ölçü birimi Şekil 11'de görüldüğü gibi belirler.
2. *"Config / Ports and Pins / Port Setup and Axis Selection"* ve "*Motor Outputs"* menülerinden kullanılacak eksenler ve sinyallerin gönderileceği port seçimleri yapılmaktadır, bu ayarlar Şekil 12'da görülmektedir. Dikkat etmemiz gereken en önemli nokta beş eksenli bir sistem kontrol edeceğimiz için *Motor Outputs"* menüsünden X,Y,Z,A ve B eksenlerinin seçilmesi gerekmektedir.
3. *"Config / Ports and Pins /Input Pins"* menüsünden eksen limit ve home sensörlerinin bağlandığı port adresleri girilmektedir. Bu ayarlar Şekil 13'de görülmektedir.

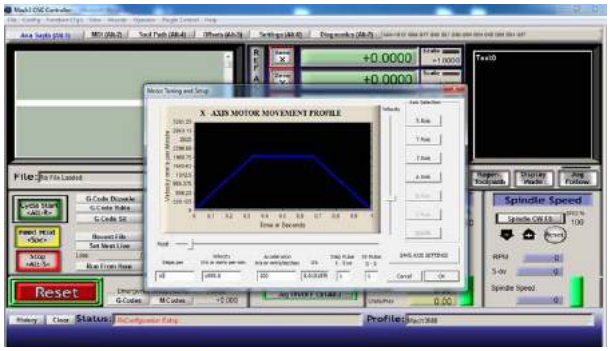
Şekil 11. Birim Seçimi

Şekil 12. Eksen ve Port Ayarları

Şekil 13. Input Pins Menüsü Ayarları

4. *"Config / Motor Tuning"* menüsünden eksenlerin bölüntü, hız ve ivme ayarları yapılmaktadır. Bu ayarlardaki hesaplanarak gerilmesi gereken en önemli değer *"step per unit"* değeridir. Bu değer;

"Step Per Unit = (Motor Adım Sayısı X Sürücü Bölüntüsü X Kasnak İletim Oranı) / Bir Turdaki İlerleme" formülü ile hesaplanır. Örneğin geliştirilen sistemde X,Y,Z eksenleri için Step Per Unit = (200x2x1) / 5 = 80 olarak hesaplanmıştır. Bu menü Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. Bölüntü, Hız ve Ivme ayarları

3. Sonuç

Bu çalışmada, eğitim ve kobilere yönelik düşük maliyetli beş eksenli CNC tezgah prototipi geliştirilmiş ve imal edilmiştir. Bu kapsamda 400, 400, 120 mm (X,Y,Z) eksen kurs boylarına sahip adım motorlar ile tahrik edilen portal tip bir CNC freze tezgahı üretilmiş ve üzerine portal 4. ve 5. eksen geliştirilerek monte edilmiştir. CNC'nin gövdesi sac, alüminyum blok ve sigma profiller ile destekli üretilmiştir. Eksenleri lineer bilyeli kızaklar ile yataklanmış ve hareket organı olarak bilyeli vidalı miller kullanılmıştır. Elektronik kontrol ünitesinde L297 - L298 adım motor kontrol entegreli kontrol devreleri imal edilmiş ve CNC Mach3 kontrol programı ile çalıştırılmıştır.

Kaynaklar

[1] Apaydın, H. (2006). *Adım Motorlarının Karakteristikleri ve Bilgisayar ile Konum Kontrolü Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitim Programı

[2] Uygun, D. (2006). *Hibrit Adım Motorunun Sayısal Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitim Programı

[3] Büyükşahin, U. (2005). *3 Eksenli CNC Tezgah Tasarımı ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi. FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı

[4] Tamer, İ. (2006). *Deneysel Bir CNC Freze İçin Donanım, Yazılım ve Komut Dili Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Maltepe Üniversitesi. FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

[5] Karaçam, S. (2009). *Adım Motor Kontrollu Hızlı CNC Freze Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi. FBE Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

[6] Tunç, T. L. (2006). *Geometrical Analysis And Optimization Of 5-Axes Milling Processes*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Sabancı Üniversitesi. FBE Endüstri Mühendisliği Uygun, D. (2006). *Hibrit Adım Motorunun Sayısal Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitim Programı

[7] Antune, F., Baptista, R., Simoes J. *Three And Five Axes Milling Of Sculptured Surfaces*. Journal Of Materials Technology 103 (2000) 398-403

[8] Çelik, A. K. (2007). Development Of A Methodology For Prediction Of Surface Roughness Of Curved Cavities Manufactured By 5-Axes CNC Milling. Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Makine Mühendisliği

[9] Kaygısız H., Çetinkaya K. (2010). *CNC Freze Eğitim Seti Tasarımı ve Uygulaması* Süleyman Demirel Üniversitesi ''International Journal of Technologic Sciences'' dergisi.

[10] Kaygısız H. (2010). Eğitim Amaçlı Üç Eksenli Masaüstü CNC Freze Tezgahı Tasarımı ve Prototipi, Karabük Üniv. Fen Bilimleri Enst. Yüksek Lisans Tezi.

[11] Kavala, Ş.D. (2010). *Beş Eksenli CNC Tezgah Tasarımı ve Kontrolü.* Yüksek Lisans Tezi Dokuz Eylül Üniverasitesi FBE Mekatronik Mühendisliği.

EFFECTS OF DIFFERENT TOOL DIAMETER ON FREE FORM SURFACES MACHINING WITH B-SPLINE CURVE

Erkan BAHÇE [a], Burak ÖZDEMİR [b]
[a *] Inonu University, Mechanical Engineering Malatya / TURKEY, E-mail: erkan.bahce@inonu.edu.tr
[b,] Inonu University Vocational School, Malatya / TURKEY E-mail: burak.ozdemir@inonu.edu.tr

Abstract

To increase machinability of free-form surface which is used extensively in design is the main aim of this study. Free-form shapes play an important role in the shipbuilding, automotive, aerospace and architectural industries to manufacture aesthetic, ergonomic and aerodynamic products. Although the products that possess free-form surface have many advantages, it is difficult to machine of these. This situation make the studies on this area actual.
In this study, The curve which generate with B-Spline mathematic was drawn by MATLAB. The surface was formed by using this curve with Solidworks. B-Spline tool path was generate to machine this surface. The effect of different tool to surface machining was searched on this surface.

Keywords: B-spline, Free-form surface, CAD/CAM

1. Introduction

In the last several decades, significant research and development efforts have been made for the design and manufacturing of products/objects consisting partially or solely of free-form surfaces. Products are often designed with freeform surfaces in the shipbuilding, automotive, and aerospace industries to obtain aesthetic, ergonomic, and competitive advantages.

When using modern CAD/CAM systems, designers adopt more free-form or contoured geometric shapes for the design and modeling of complex parts [1]. Since conventional CNC (Computer Numerical Control) machines only provide linear (G01) and circular (G02, G03) interpolations, CAM systems have to create many linear and circular segments to approximate the contoured geometry under given tolerances before ending NC codes to CNC machines. However, when the part accuracy becomes tighter, the conventional approach suffers from the following problems:

- Tighter tolerances result in shorter data segments, hence a larger volume of data transferred.
- Data transmission cannot catch up with the large amount of data transferred during high-speed machining.
- Feed rate fluctuation and velocity discontinuity exist at the junction of two connected line segments.
- Acceleration discontinuity and excessive jerk occurring at high speed can cause system vibration and reduce the machining quality.

These drawbacks indicate that it is difficult for the conventional approach to satisfy the requirements of high-speed and high-accuracy machining in modern manufacturing systems. In order to overcome the drawbacks, parametric curves and surfaces from early Bezier to more recent B-splines and NURBS [2, 3] have been adopted by CAD/CAM and CNC systems. Since NURBS can represent both free-form and analytical geometry, it has emerged as standard geometry representation tool.

Today, though NURBS technology has found wide application in CAD/CAM, its uses in CNC seem to lag behind. So far, there are only a few top grade CNC systems like FANUC and SIEMENS supporting NURBS spline curve interpolation [4-5].

When examining the studies on machining free-form surfaces, Lin et al. [6] presented an analytical method for planning an efficient tool-path in machining free-form surfaces on 3-axis milling machines. The method comprises three steps: the calculation of the tool-path interval, the conversion from the path interval to the parametric interval, and the synthesis of efficient tool-path planning. Ameddah [7] proposed to putting forward new approaches of programming using the interpolation of NURBS. For this reason, a program capable to trace NURBS trajectories under Visual BASIC 6.0 was developed. This program was used thereafter in CAM software for the generation of NURBS formats like their new formats NC. Lasemi et al. [8] investigated at providing a state-of-the- art review on recent research development in CNC machining of freeform surfaces. In that study primarily focuses on three aspects in freeform surface machining: tool path generation, tool orientation identification, and tool geometry selection. Huang and Oliver, [9] also have developed iso-planar tool path generation methods based on non-constant scallop height on the manufactured part. They implemented iso-planar machining on parametric surfaces and determine a machining error using a computational approach. However, calculations are also iterative and lengthy. Choi et al [10], have developed a tool path generation method for multi-axis machining of free-form surfaces using Bezier curves and surfaces. Using the Bezier curves and surfaces, they generated cutter contact (CC) points for freeform surfaces and cutter location (CL) data files for post processing.

Chen and Shi [11] developed a new method for tool path generation based on the following algorithms: The free-form surfaces were approximated by triangular meshes. The vertices of triangular meshes were offset along surface normal. All offset vertices were then connected to form offset triangular meshes, which were sliced by a group of planes to obtain tool paths. Computer implementation and illustrative examples were also

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

presented in this paper. The proposed method can be used to improve and automate three-axis free-form surface machining for CAD/CAM systems. Chen and Fu [12] derived and simplified the formulae of NURBS surface paths, and a comprehensive, efficient algorithm to plan steepest ascent tool-paths on compound NURBS surfaces was developed. To verify its validity and efficiency, this innovative approach was applied to a complicated compound surface. Furthermore, a comparison between the steepest ascent and CATIA tool-paths on two NURBS surfaces was conducted to demonstrate the advantages of the steepest ascent tool-paths for NURBS surface part production. Lartiguea et al. [13] presented an accurate and efficient method to generate a CNC tool path for a smooth free-form surface for planar cubic B-spline curves that would be fed into a free-form curve interpolator. It was assumed that the used three-axis CNC machine tool was a ball end-mill cutter. Break points were interpolated which were generated by computing the offset surface driving plane intersection curve reflecting the curvature, by a planar cubic B-spline curve. Then the maximum scallop height along a scallop curve was evaluated by computing the stationary points of the distance function between the scallop curve and the design surface. Furthermore, the maximum pick feed was computed such that the maximum scallop height along a scallop curve coincided with the prescribed tolerance. Illustrative examples were shown to improve this method achieved over conventional methods where the tool path consisted of linear or circular paths. Kielmann [14] investigated computer graphics curves and surfaces. In this research, he studied mathematical representation of curves (explicit, implicit, and parametric), the representation of parametric surfaces for quadratic and cubic polynomial. He studied cubic interpolation and joining interpolating segments. This study is applied to Hermit, Bezier and B-spline curves and surfaces. Hayder and Al-Abedi [15] showed the development of the free form surface construction approach by using computer. He constructed free form surface, which consists of two stages for construction curves, surfaces and test stage. The first stage is for the uniform B-Spline curves, the second concerns surfaces, the third grade thereby is for the direct method application in a generating the B-Spline surface and curves through inserting the control points between the parts of the curve. Concerning the second stage, non-uniform B-Spline functions, were used (Rational & non-Rotational) for the second and third grade to generate the free form surface. The author has concentrated on the mathematical foundation of the uniform and non-uniform B-Spline surfaces and curves.

This paper focuses on developing that generate tool path for parametric surfaces based on the accuracy of a desired free form surface. A designed free form surface is represented by mathematical B-Spline curves, using the mathematical representation of the desired free form surface, the near optimal tool path will be generated as well as cutter contact points(CC) and cutter location points (CL) files.

2. B-splines Curves

A piecewise polynomial curve has a B-spline basis representation with properties similar to a Bezier Curve. A B-spline curve defined on the interval [a,b] is specified by the following information:

I. The degree d (or order d+1) so that each segment of the piecewise polynomial curve has degree d or less.
II. A sequence of m+1 real numbers $t_0, t_1, \ldots t_m$, called the the knot vector, such that $t_i \leq t_{1+1}$, (i=0,…m-1), $t_d=a$ and $t_{m-d}=b$. The knots $t_0, t_1, \ldots t_d$ and $t_{m-d}, t_{m-d+1}, . t_m$ are called end knots, and the knots $t_{d+1}, t_{d+2}, . t_{m-d-1}$ are called interior knots
III. Control points $b_0,\ldots,b_n$.

A B-spline curve is defined in terms of B-spline basis functions [16].

Definition 1:

The B-spline basis functions of degree d, denoted $N_{i,d}(t)$, defined by the knot vector $t_0, t_1,\ldots,t_m$ are defined recursively as follows:

$$N_{i,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad t_i, t \\ 0, \text{ other ise} \end{cases} \tag{1}$$

$$N_{i,d}(t)=\frac{(t-t_i)}{t_{i+d}-t_i}N_{i,d-1}(t)+\frac{(t_{i+d+1}-t)}{t_{i+d+1}-t_{i+1}}N_{i+1,d-1}(t) \tag{2}$$

for i = 0,...,n and d ≥ . If the knot vector contains a sufficient number of repeated knot values, then a division of the form $N_{i,d-1}(t)/(t_{i+d}-t_i)=0/0$ (for some i) may be encountered during the execution of the recursion. Whenever this occurs, it is assumed that 0/0 = 0.

Definition 2:

The B-spline curve of degree d (or order d + 1) with control points $b_0, \ldots,b_n$ and knots $t_0, \ldots, t_m$ is defined on the interval $[a, b]=[t_d, t_{m-d}]$ by

$$B(t)=\sum_{i=0}^{n} b_i N_{i,d}(t) \tag{3}$$

where $N_{i,d}(t)$ are the B-spline basis functions of degree d. To distinguish B-spline curves from their rational form they are often referred to as integral B-splines [17]. The following example is taken from the book of Applied Geometry for Computer Graphics and CAD [16].

Example

Let d = 2, and $t_0 = 2$, $t_1 = 4$, $t_2 = 5$, $t_3 = 7$, $t_4 = 8$, $t_5 = 10$, $t_6 = 11$, with control points $b_0(1, 2)$, $b_1(3, 5)$, $b_2(6, 2)$, $b_3(9, 4)$. Then the k = 0 basis functions are

$$N_{0,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad , \\ 0, \text{ other ise} \end{cases} \qquad N_{1,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad , \\ 0, \text{ other ise} \end{cases}$$

$$N_{2,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad , \\ 0, \text{ other ise} \end{cases} \qquad N_{3,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad , \\ 0, \text{ other ise} \end{cases}$$

$$N_{4,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad , 0 \\ 0, \text{ other ise} \end{cases} \qquad N_{5,0}(t)=\begin{cases} , \text{ if } t \quad 0 ,11 \\ 0, \text{ other ise} \end{cases}$$

The k = 1 basis functions are determined in terms of these

$$N_{0,1}(t)=\frac{(t-2)}{2}N_{0,0}(t)+(5-t)N_{1,0}(t)$$

$$N_{1,1}(t) = (t-4)N_{0,0}(t) + \frac{1}{2}(7-t)N_{2,0}(t)$$

$$N_{2,1}(t) = \frac{1}{2}(t-5)N_{2,0}(t) + (8-t)N_{3,0}(t)$$

$$N_{3,1}(t) = (t-7)N_{3,0}(t) + \frac{1}{2}(10-t)N_{4,0}(t)$$

$$N_{4,1}(t) = \frac{1}{2}(t-8)N_{4,0}(t) + (11-t)N_{5,0}(t)$$

Finally, the k = 2 basis functions can be computed

$$N_{0,2}(t) = \frac{1}{6}(t-2)^2 N_{0,0}(t) + \frac{1}{3}(-2t^2+18t-38)N_{1,0}(t) + \frac{1}{6}(7-t)^2 N_{2,0}(t)$$

$$N_{1,2}(t) = \frac{1}{3}(t-4)^2 N_{1,0}(t) + \frac{1}{3}(-t^2+12t-34)N_{2,0}(t) + \frac{1}{3}(8-t)^2 N_{3,0}(t)$$

$$N_{2,2}(t) = \frac{1}{6}(t-5)^2 N_{2,0}(t) + \frac{1}{3}(-2t^2+30t-1104)N_{3,0}(t) + \frac{1}{6}(10-t)^2 N_{4,0}(t)$$

$$N_{3,2}(t) = \frac{1}{3}(t-7)^2 N_{3,0}(t) + \frac{1}{3}(-t^2+18t-79)N_{4,0}(t) + \frac{1}{3}(11-t)^2 N_{5,0}(t)$$

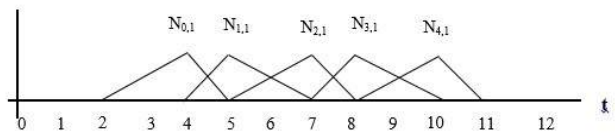


Fig. 1. Basis functions of degree 1 for the knot vector t_0 = 2, t_1 = 4, t_2 = 5, t_3 = 7, t_4 = 8, t_5 = 10, t_6 = 11

The k = 2 basis functions may be expressed in the form;

$$N_{0,2}(t)=\begin{cases} 0, & t<2 \\ \frac{1}{6}(t-2) & 2\le t<4 \\ \frac{1}{3}(-2t^2+18t-38) & 4\le t<5 \\ \frac{1}{6}(7-t) & 5\le t<7 \\ 0, & 7\le t \end{cases}$$

$$N_{1,2}(t)=\begin{cases} 0, & t<4 \\ \frac{1}{3}(t-4)^2 & 4\le t<5 \\ \frac{1}{3}(-t^2+12t-34) & 5\le t<7 \\ \frac{1}{3}(8-t)^2 & 7\le t<8 \\ 0, & 8\le t \end{cases}$$

$$N_{2,2}(t)=\begin{cases} 0, & t<5 \\ \frac{1}{6}(t-5)^2 & 5\le t<7 \\ \frac{1}{3}(-2t^2+30t-110) & 7\le t<8 \\ \frac{1}{3}(8-t)^2 & 8\le t<10 \\ 0, & 10\le t \end{cases}$$

$$N_{3,2}(t)=\begin{cases} 0, & t<7 \\ \frac{1}{3}(t-2)^2 & 7\le t<8 \\ \frac{1}{3}(-t^2+18t-79) & 8\le t<10 \\ \frac{1}{3}(11-t)^2 & 10\le t<11 \\ 0, & 11\le t \end{cases}$$

Plots of the degree 1 and 2 basis functions are shown in Figures 1 and 2. Observe that the basis functions satisfy $N_{i,2}(t) > 0$ for $t \in (t_i, t_{i+3})$ and $N_{i,2}(t) = 0$ elsewhere. General B-spline basis functions satisfy similar "positivity" and "local support" properties.

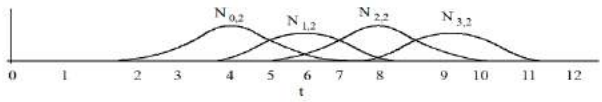


Fig. 2. Basis functions of degree 2 for the knot vector t_0= 2, t_1 = 4, t_2 = 5, t_3 = 7, t_4 = 8, t_5 = 10, t_6 = 11

The B-spline curve shown in Figure 3, is defined on the interval [2,7]. The curve that shown in Figure 3 was plotted with MATLAB program.

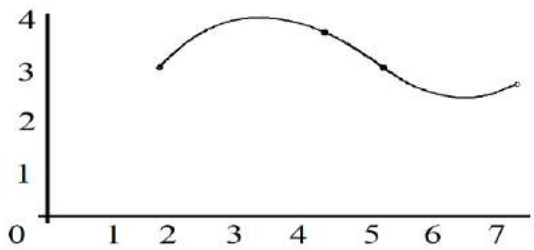


Fig. 3. B-spline curve of Example

1. B-splines Surfaces

A number of the properties of B-spline surfaces can be deduced in a similar manner to the corresponding properties for curves. The details are omitted.

$$S(u,v) = \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0}^{p} T(P_{i,j}) N_{i,d}(u) N_{j,e}(v) \tag{4}$$

When the curve that we calculated above is performed in the same way to u and v axes with considering B-Spline surface equation, free-form surface is obtained as Figure 4. The surface that shown in Figure 4 was plotted with SolidWorks program.

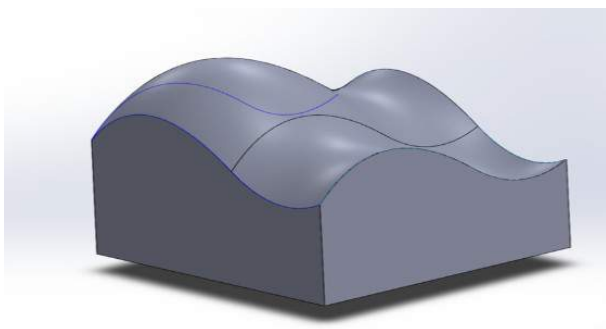


Fig. 4. B-spline surface of example

4. Tool Path Generation

Three axis machining of surfaces usually starts with rough cutting using flat end mill cutter then the finish cutting are performed using ball end mill cutter. Surface points are calculated as a function of (u, v) parameter space, the tool path indexed along the surface by incrementing (u) and

(v). Tool path planning is accomplished by holding the (v) parameter constant and indexing the (u) parameter, which is forward step. Forward step increment (s) in (u) direction must be carefully chosen since tool movements are linearly interpolated and the chordal deviation between the straight lines and the actual surface must be less than the desired tolerance (δ . Step-over increment in (v) direction must be small enough to keep the scallop height between spherically shaped cutter paths to less than the desired tolerance. Figure 5 illustrates the B-Spline tool path of a desired surface.

The choice of forward step length depends on the calculated tolerance (δ bet een the true curve and the chord between successive points on the curve. The maximum deviation occurs at [$r(u+1/2\Delta u)$] for a sub-segment from (u) to ($u+\Delta u$) Figure 6. This leads to a straightforward algorithm of the maximum for general parametric curves [18,19]. The maximum normal distance (δ for the chord joining the points at ($u=0$) and ($u=1$) is evaluated, because parameter transformation can be used to transform any segment $u_i \leq u \leq u_{i+1}$ into ($0 \leq u' \leq$.

$$u = (1-u)\,' u_i + u'\, u_{i+1} \qquad (5)$$

It can be seen that the parameter (u'=0,1) correspond to ($u = u_i, u_{i+1}$) as required. So standard results to sub-segments ($u_i \leq u \leq u_{i+1}$), according to the geometric relationship as shown in Fig.(7) can be applied:

$$r(1/2) = r(0) + \lambda c + p$$

In which the chord vector joining the points $r(0)$ and $r(1)$; then:

$p = r(1/2) - r(0) - \lambda c$, Since c.p=0

It follows that $c.[r(1/2) - r(0) = \lambda |c|^2$

So that, $\lambda = \dfrac{cr((1/2) - r(0))}{(c)^2}$,

Then, $p = r(1/2) - r(0) - \dfrac{cr((1/2) - r(0))}{(c)^2}.c$

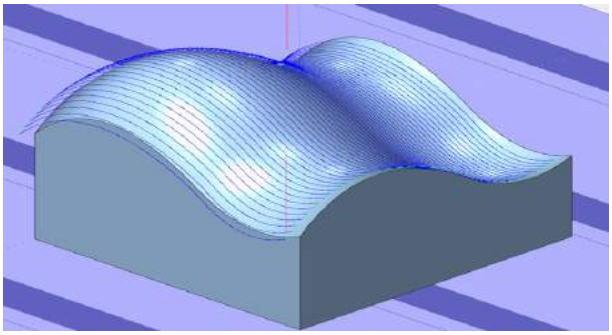


Fig. 5. B-spline tool path of a desired surface

5. Conversion of CC to CL Point

The result of calculating the forward step is a CC point that can be any point on the tool, to reduce machining errors, it has to be converted to a CL point by which the tool moves along the surface. The surface normal 'n' at an arbitrary point P(u,v) is expressed as;

$$n = \frac{S_u \quad S_v}{|S_u \quad S_v|}$$

where Su and Sv are the derivatives along the u and v directions on a surface S at point P.

For a ball-end mill, the CL point is the point on the offset surface of the work piece, while the CC point is the point on the cutter that contacts the work piece surface (Pcc). Let (Pcc) be the CC point, r be the radius of the ball-end mill, the CL point (Pcl) is given by $P_{CL} = P_{CC} + r.n$

Calculation for Forward Step; $l = \sqrt{8R\delta}$

where l interpolated line between start point and end point of desired curve, R Radius of curvature δ error or tolerances.

The side step (P) is a function of:

- The scallop height (h)
- Tool nose radius (r)
-

For flat surface (R=0) $P = 2\sqrt{r2} - (r-h)^2$

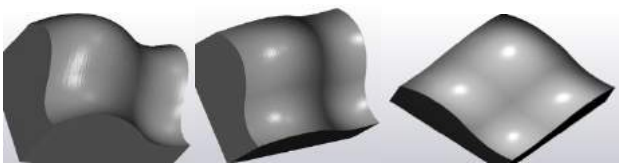
For convex surface (R<0) $P = \dfrac{\sqrt{8hrR}}{R+r}$

For concave surface (R>0) $P = \dfrac{\sqrt{8hrR}}{R-r}$

where P, Side-step length, r Tool or cutter nose Radius, h scallop height.

After selecting the correct machining direction and machining of B-spline surface, in order to generate the machining codes the tool moves along a direction, each successive tool path is divided into a number of straight segments. So machining of each segment could be represented by (G01) code. By calculating the coordinates of start and end points of each line segments, it becomes possible to generate the required part program. With Part program, CC and CL points were generated and one of these surfaces machined using a vertical CNC milling machine with a desired tolerance and scallop height.

B-spline surface were tested to generate the tool path different tool diameters (Ø12, Ø10, Ø8). Figure 6 illustrates obtaining surfaces with the different tool diameters.



d= Ø12 d= Ø10 d=Ø8

Fig. 6. B-spline surface generate with different tool diameters

6. Conclusions

MATLAB was used for modeling a free form surface that generate with cubic B-spline surface technique in this study. In the other stage MATLAB was utilized to develop a tool path generation program. With result of tool path code, CNC simulation software (CNC Train Fanuc OM) was run and got features machined parts

As shown in the figure 6, the number of cutter location points [tool path length] is not dependent of surface type, but its exceedingly influence by allowable tolerance and diameter of end mill; as the allowable tolerance go up, using larger cutter diameter, if the required number of cutter location points lessen, the total length of the tool path will decrease and this will reduce cost of both manipulation and storage. Moreover, for eliminating cut problems with respect to curvatures of the curved surface, the cutter diameter should be chose cautiously.

References

[1] Yau, H. T., Lin, M. T. and Tsai, M. S. (2006). Real-time NURBS interpolation using FPGA for high speed motion control, Elsevier CAD, 38: 1123-1133.

[2] FANUC Corporation. (2004), FANUC Series 30i/300i/ 300is-MODEL A, Series 31i/310i/310is-MODEL A5, Series 31i/310i/310is-MODEL A, Series 32i/320i/320is MODEL A–Connection Manual.

[3] Siemens Corporation. (2003), SINUMERIK 840D/840Di/810D/FM-NC Programming Guide Advanced (PGA) 10.00 ed.

[4] Marchenko, M., Tae, J. K. and Lee, S. H., et al. (2004), NURBS interpolator for constant material removal rate in open NC machine tools, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 44: 237-245

[5] Yau, H. T. and Kuo, M, J. (2001), NURBS machining and feed ratead justment for high-speed cutting of complex sculptured surfaces, International Journal of Production Research, 39(1): 21-41.

[6] Rong-Shine Lin, Y. Koren, Efficient Tool-Path Planning for Machining Free-Form Surfaces, Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME, Vol. 118 (1996) 20-28.

[7] Hacene Ameddah, NURBS Interpolation Strategies of Complex Surfaces in High Speed Machining and Mekki Assas Laboratory of Research in Productic (LRP). University of Batna- Algeria

[8] Ali Lasemi, Deyi Xue Recent development in CNC machining of freeform surfaces: A state-of-the-art review, Peihua Gu Department of Mechanical and Manufacturing Engineering, University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, T2N 1N4

[9] Huang, Y., & Oliver, J. (1994). Non-constant parameter NC tool path generation on sculptured surfaces. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 9(2), 281–290.

[10] Choi, Y.-K., & Banerjee, A. (2006). Tool path generation and tolerance analysis for free-form surfaces. International Journal of Machine Tools and Manufacturer, 47(3–4), 689–696.

[11] Tao Chen, Zhiliang Shi, A tool path generation strategy for three-axis ball-end milling of free-form surfaces, journal of materials processing technology 2 0 8 (2008) 259–263

[12] Zezhong C. Chen, Qiang Fu, A practical approach to generating steepest ascent toolpaths for three-axis finish milling of compound NURBS surfaces, Computer-Aided Design 39 (2007) 964–974

[13] C. Lartiguea, F. Thiebauta, T. Maekawa, CNC tool path in terms of B-spline curves, Computer-Aided Design 33 (2001) 307-319

[14] Thilo Kielmann,"Computer graphics curves and surfaces ", University of Pennsylvania, 2007.

[15] Hayder K. Al-Abedi," Development of the free form surface construction approach by using computer", M.Sc, University Of Technology, Department Of Production Engineering and Metallurgy, 2002.

[16] Marsh D., Applied Geometry for Computer Graphics and CAD, ISSN 1615-2085, Springer, Verlag London Limited 2005.

[17] Saxena A., Sahay B., Computer Aided Engineering Design, Springer, Anamaya Publishers, New Delhi, India, 2005.

[18] Patrikalakis N.M., "Computational Geometry", Massachusetts Institute of Technology, USA, 2003.

[19] Abbas T., Automatic Tool Path Generation for Parametric Surfaces in Terms of Bezier Patches. Eng.&Tech. Journal, Vol.27, No.4, 2009.

KARDEMİR, RAY PROFİL HADDEHANESİ ÇAPAK TEMİZLEME SİSTEMİ

BURR CLEANING SYSTEM FOR RAIL PROFILE ROLLER IN KARDEMİR

M. Feridun DENGİZEK
Kardemir A.Ş., Karabük, Türkiye, E-posta: fdengizek@gmail.com

Özet

Sanayide işletmelerin sürdürülebilirliğini sağlamanın veya yeni yatırım projelerinde görev almanın dışında işletme şartlarının iyileştirilmesi, verimliğin ve ürün kalitesinin arttırılması, iş güvenliğinin sağlanmasına yönelik pratik çözümler üretmek de sanayide çalışan mühendislerin görevlerindendir. Bu bildiride ürün kalitesini geliştirmeye ve bakım masraflarını azaltmaya yönelik olarak Kardemir A.Ş.'de uygulanan pratik bir çözüm örnek olarak ele alınmıştır.

Anahtar kelimeler: Profil haddeleme, Çapak temizleme

Abstract

Main responsibilities for engineers who take place on industrial plant area is not only maintain the continuity of plant operations, or take place on large investment projects, but also finding practical solutions to improve function of plants, to increase plant efficiency, product quality and supply more safe working conditions. At this paper such a practical solution to improve product quality, and decrease maintenance cost has been explained as an example.

Keywords: Profile rolling, Burr cleaning

1. Giriş

Ağır sanayide çalışan mühendislerin ana görevlerinden birisi de işletmelerin ihtiyacına yönelik olarak;

- İşletmenin kendi imkanlarını kullanarak
- Mevcut üretim akışını engellemeden
- Kısa süre içinde
- Yüksek maliyeti olmayan pratik çözümler üretmektir.

Kardemir A.Ş.'de üretilen blum ve kütüklerin sürekli döküm tesisinden çıktıktan sonra boy kesmesi esnasında kütük ucunda biriken skalın (çapağın) temizlenmesi için prototip olarak projelendirilen ve imal edilip uygulanan çapak temizleme aparatı yukarıda bahsedilen pratik çözümlere bir örnek olarak anlatılacaktır.

2. İhtiyaç Nereden Doğdu?

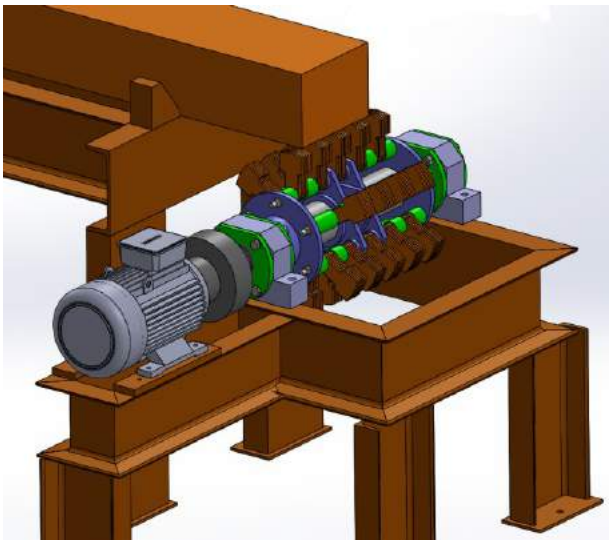
Endüstriyel tasarımlar genellikle işletmelerin karşılaştığı sorunlara çözüm bulmak için geliştirilirler. Örnekte ele alınan sistem, çapağı temizlenmeden haddehaneden geçirilen kütüklerin oluşturduğu iki önemli sorunu çözmeyi amaçlamıştır. Bunlar;

1. Blumlar çapakları temizlenmeden hadde merdanelerinden geçirilirse merdane yüzeyleri ve hadde yatakları çok sık hasarlanmakta ve bu nedenle;
   - Bakım giderleri artmakta,
   - Bakım duruşları nedeni ile üretim azalmakta,
   - Tav fırınlarının söndürülüp yeniden ısıtılması enerji israfına neden olmaktadır.
2. Çapak temizlenmeden haddelenmiş ürün yüzeyinde yüzey çizikleri oluşmakta, hatta zaman zaman üründe ortaya çıkan iç çatlaklar nedeni ile hurdaya ayrılan ürün üretim maliyetini arttırmaktadır.

Bu nedenlerle blum ve kütüklerin çapaklarının temizlenmiş olarak haddelenmesi önemli bir gereksinim olarak ortaya çıkmıştır.

3. Sistemin Geliştirilmesi

Endüstriyel uygulamalarda sonuç genellikle başarısız birkaç uygulamadan sonra gelir. Örnekte de gelişmeler aşağıdaki gibi gerçekleşmiştir. Yurt dışındaki tesislerde çapak temizleme işlemi blum dökümden çıkar çıkmaz daha soğumadan ve santrifuj kuvvetle savrulan küçük sert çekiçlerin çapağa çarptırılarak kırılması ile sağlanmaktadır (Şekil 1).

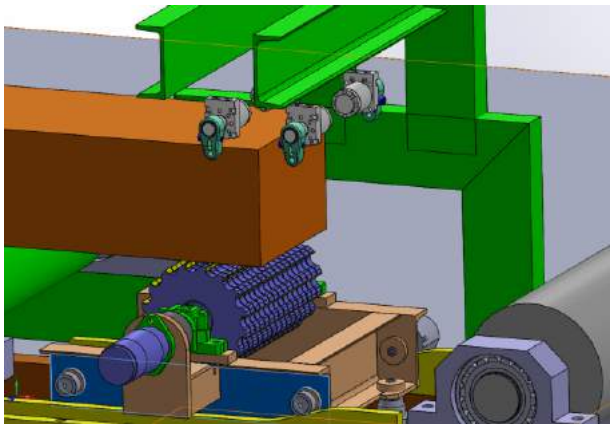


Şekil 1. Çapağı çekiçleyerek kıran makine (ilk tasarım)

Kardemir A.Ş.'de mevcut döküm tesisinin çıkışı bu tip temizleme aparatının yerleşimine uygun olmadığından uygulamanın kütüklerin aktarıldığı haddehane tav fırınları öncesinde yapılmasına karar verilmiştir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Haddehaneye sevk edilen blumlar bu süre içinde soğumuş olduğundan çapak son derece sert bir yapıya dönüşmektedir. Bu nedenle çapağın yontularak temizlenmesine karar verilmiştir (Şekil 2).



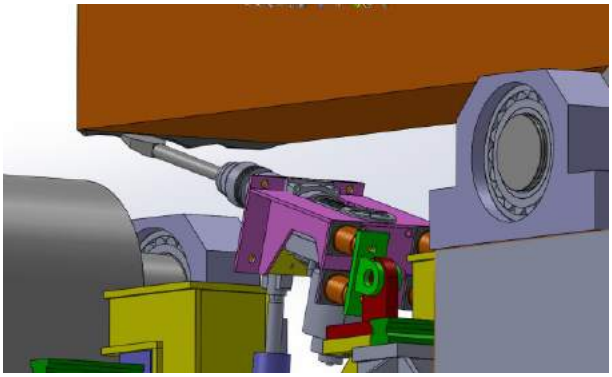
Şekil 2. Çapağı yontarak temizleyen makine (ikinci tasarım)

Ancak soğumuş çapağın yontularak temizlenmesinin hem çok uzun zaman aldığı hem de çok zor ve maliyetli olduğu yine başarısız bir uygulama ile fark edilerek aşağıda aşamaları belirtilen makinanın tasarımına başlandı (Şekil 3).

4. Kapasitenin Belirlenmesi

Endüstriyel tasarımlarda birinci aşama her zaman kapasitenin belirlenmesidir. Ray pofil haddehanesi etüd çalışmalarında kapasite aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

- 100 Ton /Saat kapasiteli fırınlara 12 metre boyundaki blumların bir sıra halinde her iki ucunun temizlenerek sokulabilmesi için blum başına ayrılabilecek süre 2 dakikadır.
- Her blumun iki kenarının temizlenebilmesi için blum manipulasyonu süresi dışında sadece temizleme işlemine kalacak süre en fazla 30 saniyedir.
- Bu kadar kısa bir süre içinde temizleme işleminin gerçekleşebilmesi için çapağın birkaç darbe ile kökünden kırılması gerekmektedir.



Şekil 3. Çapak temizleme makinası komple görünüş

5. Sistemin Yerleşimi

Endüstriyel tasarımlarda ikinci aşama sistemin yerleştirileceği alanın belirlenmesidir. Yerleşim bölgesinin seçiminde aşağıdaki kriterlere dikkat edilmiştir. Bunlar;

- Yerleşimi yapılacak sistem mevcut işletmenin akışını bozmayacak konumda olmalıdır.
- Bakım işlerinin yapılabilmesi için sistem vinç yanaşımlarının ve bakım elemanlarının sistemi söküp takmasına imkân verecek konumda olmalıdır.
- İş güvenliğinin sağlanması ve tasarlanan sistemin hasarlanmamasına yönelik olarak yerleşimin uygun konumda olması sağlanmalıdır.
- Yukarıda sıralanan kriterlere uygun bir yer olarak Tav fırınları giriş merdaneleri yerleşim yeri olarak belirlenmiş oldu (Şekil 4).

Şekil 4. Sistemin yerleştirildiği Tav fırınları giriş bölgesi

6. Sistemin Tasarlanması

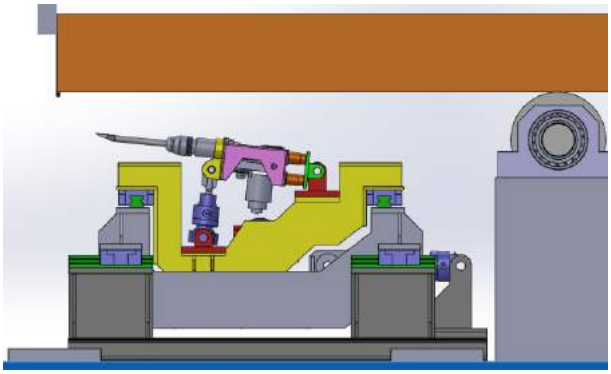
Sistemin nereye yerleştirileceği belirlendikten sonra tasarım aşamasına geçilir. Bizim örneğimizde çapakların kısa süre içinde temizlenebilmesi ancak kırıcı kullanılarak gerçekleştirilebileceği tespit edildi (Şekil 5).

Şekil 5. Makinada kullanılan hazır temin edilmiş kırıcı.

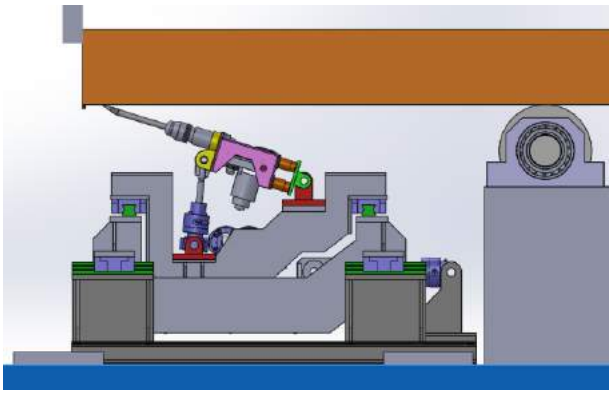
- Bu iş için beton kırmada kullanılan kırıcı tabancaların kullanılmasının uygun olacağı düşünüldü ve piyasadan temin edilmiş bir kırıcı tabanca sisteme uygun duruma getirilme amacıyla modifiye edildi.
- Makaralar üzerinde bir istasyona gelen blumların belli bir pozisyonda durması sağlandıktan sonra darbe esnasında hareket etmemesini sağlayacak tamponlar konumlandırılarak çapak kırma işleminin başlaması sağlandı.
- Bunun için kesici ucun blum tabanına değinceye kadar hidrolik silindirler vasıtasıyla yukarı kalkması ve bir köşeden başlayarak çapak tamamen temizlenene kadar 360 mm genişliğindeki blum taranması sağlandı.
- Tarama uzun zaman alınca tüm blum genişliğini tek seferde kıracak geniş bir bıçak ile kırma işinin yapılmasına karar verildi ve bu genişlikte bıçaklar temin edildi.
- Son defa yapılan deneme ile çapak kırma işlemi istenen den çok daha kısa bir zamanda, yaklaşık 10 saniyede gerçekleştirilmiş oldu.

7. Sistemin Çalışması

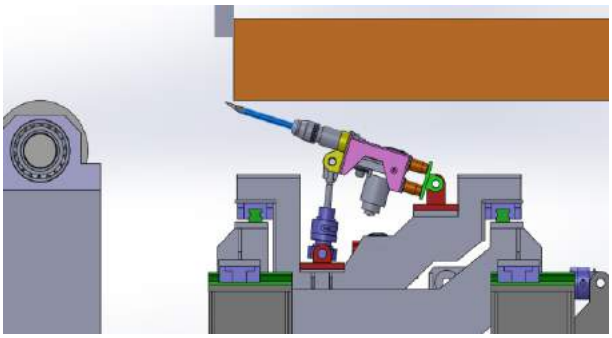
- Tav fırını önüne getirilmiş blumlar zincirli konveyör ile tava fırını merdanelerine aktarılır.
- Çapak temizleme istasyonuna gelen blumlar temizleme konumunda tamponlanarak temizlik sırasında hareket etmesi engellenir (Şekil 6).
- Blum altında kalan mekanizmanın kaldırma silindiri devreye girerek bıçağın blum tabanına değecek kadar yukarı kalkması sağlanır (Şekil 7).
- Darbeli kırıcı çalışmaya başladıktan sonra ileri hareket silindiri 7 mm/sn hızla bıçağı ileri hareket ettirilerek çapağın temizlenmesi sağlanır. (Şekil 8-9).
- Bıçak aşağı indirilerek mekanizma park konumuna geri getirilir.
- Bu esnada tamponlar kalkar ve bulum makaralar üzerinde harekete geçirilerek ilk mekanizmanın simetriği olarak konumlandırılmış ikinci bir istasyona getirilir (Şekil 10).
- Birinci istasyonda yapılanlar bu istasyonda tekrarlanır.
- İki ucu da temizleniş bulum fırına sokulmak üzere makaralar üzerinde yoluna devam eder.
- Bu hareketlerin tümünün operatör kullanılmadan (makaraların dönmesi, tampon hareketleri, bıçağın hareketleri vs.) PLC vasıtası ile otomatik olarak kontrol edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 6. Blum temizleme pozisyonuna gelmiş

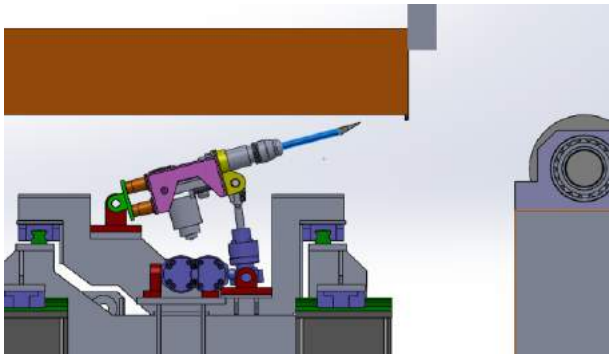


Şekil 7. Kırıcı uç blum tabanına temas durumuna getirilmiş.



Şekil 8. Çapak kırma işlemi tamamlanmış

Şekil 9. Son tasarlanan makine ile kökünden kırılarak çıkarılmış çapak



Şekil 10. Blumun diğer ucu simetrik temizleme konumuna getirilmiş

8. Sonuç

Mühendislik uygulamaları bilimsel çalışmalar gibi laboratuar ortamında, masa başında değil ardarda gelen birçok uygulamadan sonra elde edilmiş tecrübelerle gerçekleşir.

Elbette sonucun verimliliği, sürdürülebilirliği ise mühendisliğin tüm branşlarının devreye sokulması ile elde edilir.

Anlattığımız bu mekanizma böylesi pratik yaklaşımlar sonucunda gerçekleşmiş bir uygulamaya örnek olarak sunulmuştur.

Kaynaklar

[1] Ray ve profil haddehanesi işletme toplantıları, Kardemir A.Ş., Karabük, 2013.
[2] Kalite kontrol müdürlüğü kalite raporları, Kardemir A.Ş., Karabük, 2013.

YERİNDE İŞLEME UYGULAMALARI İÇİN PORTATİF TİP FREZE TEZGAHI DİZAYNI VE ANALİZİ

DESIGN AND ANALYZES OF PORTABLE MILLING MACHINE FOR IN PLACE MACHINIG APPLICATIONS

Tamer ÇOBANOĞLU [a], Sabri ÖZTÜRK [b]
[a] Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş. Ankara/TÜRKİYE, E-posta: tcobanoglu@tai.com.tr
[b] Abant İzzet Baysal Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Bolu/TÜRKİYE
E-posta: sabriozturk@ibu.edu.tr

Özet

Yerinden sökülerek sabit tezgah üzerine bağlanabilme imkanı olmayan büyük ekipmanların ve makinaların aşınan ve kırılan parçalarının tadilatı, hava aracı gövdelerinin montaj sırasında yapılması gereken delik delme ve frezeleme gibi işlemleri için, taşınabilme ve ayarlama esnekliğine sahip, ekipman veya parça üzerine kurularak işleme yapmaya imkan veren portatif tezgahlar kullanılmak zorundadır. Bu tür tezgahlar işleme yapılacak yerin özelliklerine göre tasarlanarak imal edilir ve genelde aynı tip uygulamalar için kullanılır. Bu çalışmamızda demir-çelik tesislerinde haddeleme işleminin yapıldığı hadde gövdesinin aşınan yüzeylerinin tashih işleminin yapılabilmesi amacına yönelik 3-eksenli portatif freze tezgahı dizayn edilmiş, mukavemet analizleri yapılmıştır. Dizayn için Solid Edge programı, analiz çalışmaları için Ansys programı kullanılmıştır. Dizaynın tamamlanıp modelin elde edilmesinden sonra tezgahın doğal frekansı teorik olarak hesaplanmış, mukavemet analizleri yapılarak elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır. Dizayn edilen cihaz endüstride başarı ile çalışmaktadır.

Anahtar kelimeler: Portatif freze, tezgah dizaynı, doğal frekans, vibrasyon analizi.

Abstract

Portable milling machines that can be movable and adjustable must be used by locating it over the equipment or part for the maintanance applications of the worn parts of big equipments and machines, also for the drilling and milling processes of the aerospace vehicles that should be done during the assembly process. That type of portable machines are designed by taking into account of properties of places to be machined and used generally for the same type of application. In this study 3 axis portable milling machine was designed and analyzed for machining of worn surfaces of the mill stand that is used for the rolling of the sheet metals. Solid Edge design program was used for design works and Ansys was used for analyze works. After finishing of the desing works the natural frequence of the machine was calculated theoretically, strength analyzes were done and the results were interpreted. Designed machine is working with success in the industry.

Keywords: Portable milling machine, machine design, natural frequence, vibration analyze.

1. Giriş

Frezeleme işlemi, farklı malzemeler kullanılarak kompleks şekilli parçaların yüksek kalitede imal edilebilmesini sağladığı için sanayide çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle havacılık ve uzay, kalıpçılık, otomotiv ve parça üretimi yapan endüstri alanlarında kullanımı, CNC, CAD, CAM ve teknoloji alanlarında yaşanan gelişmelerle birlikte son yüzyılda giderek artmıştır. Tezgah üzerinde yapılabilen frezeleme işlemleri olduğu gibi tezgah üzerinde yapılamayan, ekipman veya makine üzerinde frezeleme işlemlerinin yapılması gerektiği durumlar da söz konusudur. Özellikle nükleer, hidrolik ve rüzgar güç santralleri, çelik ve aluminyum üretimi, denizcilik, madencilik, petro-kimya ve askeri alanları kapsayan sanayilerde, sahada frezeleme işlemleri yaygın olarak uygulanmakta, tamiratı veya bakımı yapılacak ekipmanlar yerinden sökülmeden işlemler yapılmaktadır. Sahada frezeleme işlemleri için özel olarak tasarlanan seyyar freze tezgahları kullanılmaktadır. Dizayn aşamasında tezgahın işlem yapacağı yer dikkate alınarak, bağlama biçimi, boyutsal ölçüleri, taşınma ve yerleştirme şekilleri belirlenir. Bu çalışmamızda demir-çelik tesislerinde haddeleme işleminin yapıldığı hadde gövdesinin aşınan yüzeylerinin tashih işleminin yapılabilmesi amacına yönelik, 3-eksenli portatif freze tezgahı dizayn edilmiş, mukavemet ve vibrasyon analizleri yapılmıştır. Dizayn aşaması, mevcut tezgahın tersine mühendislik uygulanarak incelenmesi ve boyutsal artışlar yapılarak geliştirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

Frezeleme işleminde, takım ve parça üzerinde deformasyon oluşumuna etki eden ve bunun neticesinde üretilen parça toleransını etkileyen temel unsurlardan en önemlisi kesme kuvvetidir. Budak [1] tarafından yapılan çalışmada, analitik kesme kuvveti, parça ve takım deformasyonu modellemeleri yapılarak proses üzerine etkileri gösterilmiştir. Freze tezgahının hassasiyetine etki eden en önemli sistemlerden bir tanesi spindle sistemidir. Spindle şaftının ölçüleri, konumu ve kullanılan yataklar spindle deformasyonuna etki eder. Kesme kuvvetinin ilk olarak etkilediği yer de yine spindle şaftı ve yataklarıdır. Chen ve arkadaşları [2] tarafından spindle sisteminin statik ve dinamik modellemesi yapılarak, spindleın ekzantriklik oranının meydana getirdiği döner balanssızlığın, radyal ve eksenel yatak yağlama yağı film kalınlığı ve katılığına olan etkisi araştırılmıştır. Ekzantriklik oranının artması ile film kalınlığı artmakta, katılık düşmekte ve spindle deformasyonu artmaktadır. Spindle şaftının yüksek devirli

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

hareketi sırasında ortaya çıkan titreşimler, kesici takımın tırlamasına sebep olarak, yüzey kalitesinin düşük çıkmasına neden olur. Yanal vibrasyonun etkisini araştırmak üzere, spindle üzerinde oluşan vibrasyonun etkisi, sonlu elemanlar modeli oluşturarak incelenmiştir [3]. Yüksek hızlı işlemede başarılı bir operasyonun şartı, spindle şaftının tırlamasının önlenmesi ve bilyalı yatakların açısal olarak fazla yüklenmesinin önüne geçmektir. Cao ve Altintas [4], spindle sisteminin sanal kesme performansını simule etmek için, spindle takım sistemini numerik olarak modellemişler, analitik modeli doğrulamak amacıyla deneysel çalışma yapmışlardır. Rulmanlara uygulanan ön yükleme sayesinde rulman rijitliğinin arttığı ve bunun sonucunda da doğal frekansta bir artış olduğu, bu sayede stabil olarak yüksek hızlara çıkılabildiği gözlemlenmiştir. Spindle şaftının işleme sırasındaki performansını etkileyen unsurlar, şaftın ölçüleri, yatakların rijitliği, ön yükleme durumu ve yataklar arasındaki mesafeler, takım geometrisi ve tutucusu ile iş parçasıdır. Altintas ve Cao [5] spindle performansını simüle etmek ve en yüksek dinamik rijidliğe ve en yüksek metal kaldırma oranına ulaşmak için spindle ölçülerinin optimizasyonu üzerine çalışma yapmışlardır. Simülasyon sonucunda spindle şaftının dönme hızının, düşük doğal frekansların üzerinde büyük etkisi olduğu görülmüştür. İşleme sırasında takım tezgahı, takım tutucu, kesici takım ve malzemeden kaynaklanan, serbest, zorlamalı ve tırlama olmak üzere üç tip titreşim tipi vardır [6]. Kesici takım ile malzeme arasında meydana gelen tırlama, kontrolü en zor olan ve bir çok araştırmaya konu olan en önemli titreşim tipidir. Tezgah tasarımında dikkate alınması gereken bir unsur olmakla birlikte en çok spindle sisteminin tasarımını etkilemektedir. Pratikte tezgah tasarımı sırasında iki ana amaç vardır. Birincisi, iş parçasının istenilen şekil ve kalitede imal edilebilmesi için tezgah stabilitesinin iyi olması, ikincisi de tezgahın hedeflenen işlemi stabilite kaybı olmadan yapabilmesi ki bu da yapısal parçaların iyi bir dinamik birlikteliğe sahip olması ile mümkündür [7]. Günümüzde, çok amaçlı veya özel endüstriyel uygulamalar için modüler tezgahlar tasarlanmaktadır. Dizayn aşamasında, tezgahın statik ve dinamik davranışlarını görmek için sonlu elemanlar analizi yapılabilir. Ancak, civatalı bağlanmış parçalarda olduğu gibi birleşme noktalarında çeşitli arayüzler bulunması, tezgah yapısının modüller şeklinde formüle edilmesini zorlaştırmaktadır [8]. Tezgah bileşenlerinden bir tanesi de kızak sistemidir. Tezgah eksen hareketlerini sağlamak amacıyla kullanılan hareketli taşıyıcı arabaların bağlandığı lineer kızaklar, teknolojik gelişmelerle birlikte kutu kızaklarda oluşan aşırı sürtünmeyi azaltmak için bilyalı olarak yapılmakta, seri hareketler ile yüksek doğruluk için tercih edilmekte ve CNC tezgahlarda kullanılmaktadırlar. Büyük çaplı bilyalar kullanılarak oluşturulan ön yükleme sayesinde, yük taşıma kapasitesi ve yapısal rijitlik arttırılabilmektedir. Lin ve arkadaşları [8], lineer bilyalı kızak sistemi entegre edilmiş spindle sistemi üzerinde yaptıkları sonlu elemanlar analizi ve deneysel çalışmalar sonucunda, lineer bilyalı kızakların ön yükleme değerinin düşükten yükseğe alınması ile titreşim frekansında % 10 iyileşmeler olduğu görülmüştür. Fujita ve arkadaşları [9], yüksek hassasiyetli lineer bilyalı kızaklar üzerine yaptıkları çalışmada, bozucu kuvvetlerin pozisyonlamaya olan etkisini incelemişlerdir. Deneysel olarak yapılan çalışmada dur-kalk-ilerle ve geri ilerleme yöntemi kullanılarak, 120mm hareket mesafesi (global pozisyon) ile 200µm hareket mesafesi (mikro pozisyon) içinde kalan alanlarda, sürtünme ve bozucu kuvvetler karakterize edilmiştir. Tezgah hareketi sırasında nominal pozisyon ile gerçek pozisyon arasında oluşan istenmeyen farklılığın sebebi, kızak sisteminde bulunan geometrik hatalardır. Sıcaklık değişiminden dolayı oluşan termal deformasyonlar, işletme yüklerinden dolayı oluşan takım deformasyonları, eksen kontrol özellikleri ve geometrik hataların tümü hacimsel hata olarak anılmaktadır. Analitik ve deneysel olarak yapılan çalışmada [10], geometrik hataya sahip kızaklardan dolayı tablada meydana gelen sapmalar, geometrik hataların tespit edilmesi ve yerlerinin belirlenmesi için dikkate alınmalıdır.

2. Genel Dizayn Özellikleri

Seyyar freze dizayn aşamasında beş ana kriter dikkate alınmıştır. Hareket hassasiyeti, eksen kurs boyları, titreşim, ekipman üzerine bağlama şekli ve ayar kolaylığı. Bu özellikler işleme yapılacak yüzey kalitesini ve ölçü hassasiyetini direk olarak etkilemektedir. Bu beş ana özellik diğer özelliklerle birlikte tezgah dizaynına öncülük etmektedir.

Seyyar freze tezgahı özel bir amaç için kullanılacağından dolayı, bu yönde ihtiyaç olan özellikler belirlenmiştir. Dizayn, tezgahın bağlama ve ayar kolaylığı düşünülerek, ekipman üzerine montaj edilmesi prensibine göre yapılmıştır. Eksenlerin kurs boyları, işleme yapılacak yüzeyin boyutları ve seyyar frezeyi imal etmek için kullanılacak olan tezgahların kapasiteleri göz önüne alınarak belirlenmiştir. Seyyar frezenin işleme sırasında tekrar kurulum ihtiyacını ortadan kaldırmak için uygun konfigürasyon belirlenmiştir.

Seyyar freze tezgahı hadde ayakları iç yüzeylerinin işlenmesi için dizayn edilmesine rağmen, montaj esnekliği sayesinde atölye işlerinde kullanılmak için de idealdir. Mevcut üretim kapasitesi düşünülerek dizayn edildiğinden dolayı maliyet etkin bir ürün olması sağlanmıştır.

Daha farklı dizayn alternatifleri bulunmasına karşın, montaj esnekliği ve ayar kolaylığı gibi imkanlar sağladığından dolayı, ayrıca atölye ortamında da parça işleme için kullanılabilir bir yapıya sahip olmasının da etkisiyle, mevcut dizayn şekli diğerlerine göre daha avantajlı bulunmuştur. İşleme sırasında en önemli faktör ortam şartlarından dolayı tezgahta meydana gelecek olan titreşimlerdir. Bu titreşimler tezgah kararlığını ve yüzey kalitesini etkilemektedir. Montaj yapılan yüzey ile tezgah arasına ara bağlantı şasesi dizayn edilmiştir. Bu şasesinin görevi, ara mesafeyi tamamlamak ve hadde ayağı yüzeyindeki kusurların direkt tezgahla temasını engelleyerek, yüzeyin düzgün olmayışından dolayı oluşabilecek titreşimleri şase üzerinde absorbe edebilmektir. Titreşimleri minimize etmek için sabitleme papuçları dizayn edilmiştir. Bu sayede tezgah montaj ve ayar sonrası bulunduğu konumda sabitlenerek titreşimlerin etkisinin en aza indirilmesi planlanmıştır. Bunu yanı sıra, işleme sırasında uygulanacak kesme derinliğinin 0,10 mm olması ve devir sayısının düşük seçilmesi ile titreşim oluşumunun aza indirilmesi hedeflenmiştir. İşleme şartlarının hesap edilememesinden dolayı titreşim üzerine daha ayrıntılı bir hesaplama yapılamamıştır. Diğer bir unsur ise işlemenin kademeli olarak yapılacak olmasından dolayı, her kademe geçişinde arada yükseklik oluşması riskidir. Bunu önleyebilmek amacıyla tezgah hareket hassasiyetini arttırmak için kızakların ve arabaların dizaynı hem boyutsal

hem de geometrik toleranslar dar bir aralık içerisinde seçilerek yapılmış, kızak sisteminde oluşacak geometrik bozukluklardan kaynaklı pozisyon hatalarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Ön yüklemeli bilya sistemine sahip somun ve vida sisteminin ön yüklemesiz sisteme göre daha kararlı olması, yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olması, pozisyon doğruluğunun daha iyi olması bir avantaj olmasına karşın, ön yüklemesiz sistemin gerekli olan işleme şartları için yeterli özelliklere sahip olması ve maliyetinin çok düşük olmasından dolayı bu çalışmada ön yüklemesiz model tercih edilmiştir.

Tezgahta 3 eksen bulunmaktadır. Yatay (X) ve dikey (Y) hareket eksenleri birbirlerine dik olarak çalışmakta, üçüncü eksen (Z) ise spindle kafası hareket ekseni olup diğer iki eksene dik olarak çalışmaktadır. X ekseni kursu 1500 mm , Y ekseni kursu 3900 mm ve Z ekseni kursu 230 mm hareket mesafesine sahiptir. X ve Y eksen hareketleri AC motorlar ile, spindle kafası dönme hareketi hidrolik motor ile ve Z ekseni hareketi ise tambur kullanılarak manuel olarak sağlanmaktadır.

3. Tezgah Parçalarının Dizaynı

3.1. Spindle Kafası

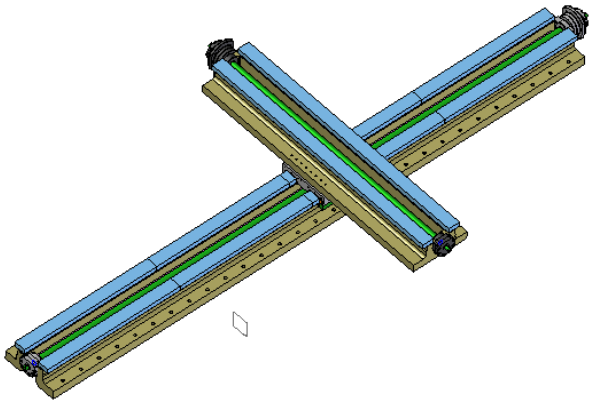
Spindle kafası, NMTB 50 konik kovana sahip, kısa şaftlı olacak şekilde, ağır işlerde kullanılmak üzere, özellikle sahada işleme yapmak amacıyla tasarlanmıştır. Housing kısmı döküm demir yerine imalat sınırlamasından dolayı çelik malzemeden tezgahta işlenecek şekilde dizayn edilmiştir. Hassas spindle şaft bağlantısı için konik masuralı rulmanlar ve dublex küresel rulmanlar kullanılmıştır. Spindle kafası hidrolik motor ile çalışacak şekilde dizayn edilmesine rağmen, flanş uygun olması durumunda elektrik motorları ile kullanılabilmektedir. Housing üzerinde manyetik komparatör tutucu için düz yüzey dizayn edilmiştir. Şaft ekseni bu yüzeye paralel olup, kesme işlemi bu yüzeye dik olarak gerçekleşmektedir. Yüzey freze takımları direkt şaftın alnına vidalanabilmektedir. 250 mm çapa kadar freze kafası bağlanabilmektedir.

3.2. Tezgah Eksen Gövdeleri

Tezgah gövdesi için malzeme seçimi, tezgah performansını etkileyen en önemli kriterlerden bir tanesidir. Dökme demir malzeme, düşük maliyeti ve titreşim sönümleyici özelliklerinden dolayı yıllar boyunca takım tezgahı imalatında tercih edilmiştir. Çelik konstrüksiyon imalat kolaylığı sağladığından dolayı portatif tezgah için tercih edilmiştir. X ekseni ve Y ekseni gövdeleri için kaynak edilebilirliği yüksek çelik malzeme seçilmiştir (Şekil 1). X ekseni gövdesi tek parça dizayn edilmiş, Y ekseni gövdesi ise 3 parçanın kaynaklı birleştirilmesi şeklinde dizayn edilmiştir. Gövdelerin her iki ucuna, bilyalı vidanın bağlantısını yapmak amacıyla yatak sistemi dizayn edilmiştir.

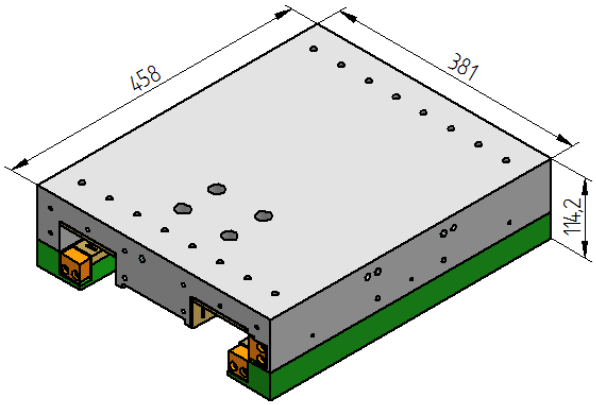
3.3. Hareket Mekanizması

Yüksek hız ve yüksek hassasiyet gerektiren uygulamalarda, seri hareket kabiliyetine sahip ve kesme kuvveti düşük olan işleme işlerine uygun olan doğrusal bilyalı kızak sistemi kullanımı tercih edilirken, kesme kuvveti yüksek olan ağır işlerde ise darbe dayancı yüksek ve titreşim emici özelliklere sahip olan sürtünmeli kutu kızaklar tercih edilmektedir. Portatif freze ile yapılacak işleme sırasında oluşan titreşimlerin etkilerini aza indirmek, darbe dayancını arttırmak için sürtünmeli kutu kızak sistemi dizayn çalışmalarında kullanılmıştır. Bir tanesinin toplam boyu 4400 mm olan kızaklar, imalat ve ısıl işlem operasyonlarının düşük maliyetli olması için tek parça yerine, boyları 1100 mm olan dört eşit parça olarak dizayn edilmiştir. Bu sisteme hareketi iletmek amacıyla 10 mm/dev hatveye sahip, 40 mm çapında, bilyalı vida ve somunu kullanılmıştır. Motordan aldığı tahriki kızaklar üzerinde bulunan arabaya aktararak arabanın doğrusal hareketini sağlamaktadır. Bu sayede X ve Y eksenleri kurs boyunca hareket edebilecektir. Vidaların uç kısımları gövdelerin iki ucunda bulunan yataklara yerleştirilecek şekilde dizayn edilmiştir.



Şekil 1. X ve Y eksen gövdeleri

Arabanın (Şekil 2) kutu kızak ile temas edecek olan yüzeylerine, montaj sonrası boşluk ayarlamasını yapabilmek için, bronz doğrusal aşınma plakaları dizayn edilmiştir. Araba yüzeyi ve bronz plakanın tek yüzeyinin konik dizayn edilmesi ile ayar imkanı kazandırılmaktadır. Bu sayede en düşük 0.02 mm boşluk ayarı yapmak mümkün olabilecektir. Hareketli temas yüzeylerinin yağ filmi üzerinde hareket etmesini sağlamak için araba içinden temas yüzeylerini yağlamak amacıyla yağ delikleri dizayn edilmiştir. Bu sayede sürtünme kuvveti düşürülecek, enerji kayıpları azalacak, aşınma önlenerek zaman içinde oluşabilecek pozisyonlama hataları engellenebilecektir.



Şekil 2. Araba dizaynı

X ve Y eksenlerinin hareketleri AC motorlar ile sağlanmaktadır. AC motora bağlı redüktör ile devir düşürülüp tork arttırılarak ilerleme hareketi kararlı ve dengeli olarak sağlanmaktadır. Motor ve redüktör ikilisine ait özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1 AC Motor ve redüktör özellikleri

P, kW	n_2, d/dak	i	M_2, Nm	s.f	Voltaj
1.5	70 ~72	1/20	167 ~ 200	1 ~ 2	380 V, 3 Faz

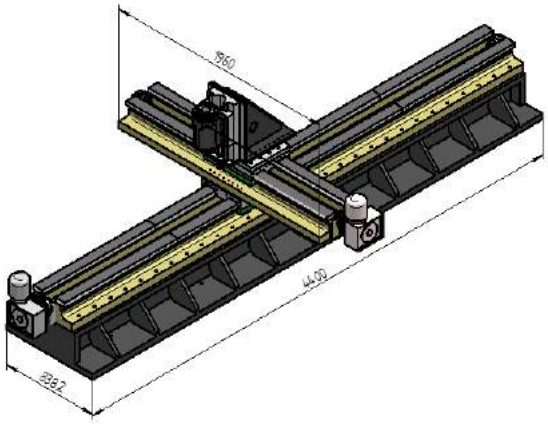
Spindle kafasının dönme hareketi için hidrolik motor kullanılmıştır. Hidrolik motorların elektrik motorlarına karşı aşağıda yer alan avantajları seçimde etkin olmuştur:

- Maksimum yükte uzun süre zarar görmeden çalışabilmesi
- Moment kontrolü yapılabilmesi
- Aynı boyuttaki elektrik motoruna göre daha yüksek güç üretmesi

Hidrolik motor ile birlikte 30 HP güce sahip hidrolik güç ünitesi kullanılmaktadır.

3.4. Sabitleme Şasesi

Portatif freze tezgahı dizayn edilirken, işlenecek yüzey ile tezgah arasındaki mesafeyi tamamlamak, takım tezgahlarında tezgah tabanı mantığına benzer şekilde tezgaha sağlam bir zemin ve düzlemselliği uygun yüzey oluşturmak, spindle kafası bağlantı gövdesinin boyunu mümkün olan en kısa mesafede yaparak titreşim oluşumunu en aza indirebilmek amacıyla, bağlantı şasesi dizaynı yapılmıştır. Şase çelik konstrüksiyon olacak şekilde dizayn edilmiştir. Tezgah dizaynının son hali Şekil 3'de gösterilmiştir.

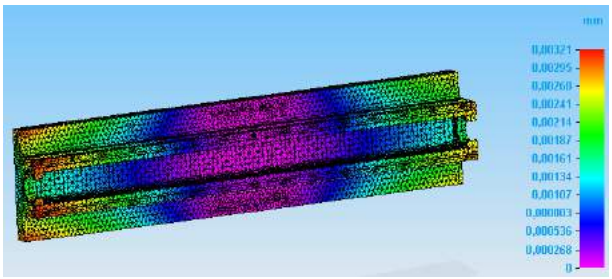


Şekil 3. Tezgah dizaynının son hali

4. Analiz

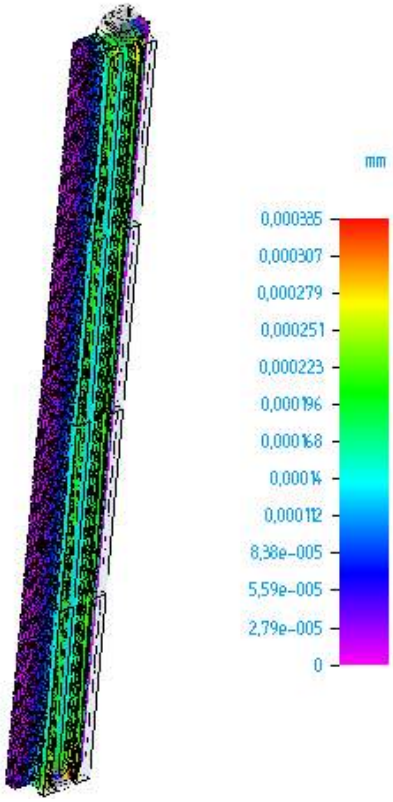
4.1. Yapısal Analiz

Portatif seyyar freze dizaynı çalışmalarının tamamlanmasının ardından yapısal analiz çalışmaları yapılmıştır. X ve Y eksenlerinin belirlenen yükler altında çalışırken, gövdeler üzerinde meydana gelebilecek deformasyonlar incelenmiştir. Şekil 4'de yatay X ekseni gövdesinde oluşan deformasyon gösterilmiştir. Gövdenin sağ ve sol kenarlarında en yüksek deformasyonun 3 µm olduğu görülmektedir.

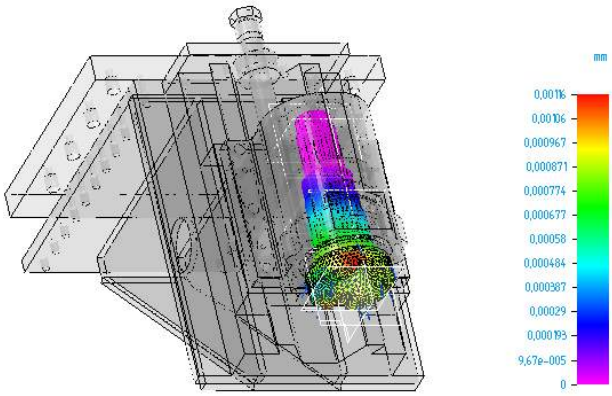


Şekil 4. X-ekseni yapısal analiz sonucu

Aynı şekilde dikey Y ekseni için yapılan analiz çalışması sonucunda, Şekil 5'de, en yüksek deformasyonun 0.3 µm olduğu görülmektedir. Burada sabitleme şasesinin gövdeye verdiği desteğin önemi görülmektedir.



Şekil 5. Y eksen analiz sonucu



Şekil 6. Spindle şaft analiz sonucu

Spindle şaftı için yapılan analizde tork uygulanarak şaftta oluşacak deformasyon bulunmaya çalışılmıştır. Şekil 6'da en yüksek deformasyon 0.7 µm olarak gözlemlenmiştir.

5. Sonuç

Portatif seyyar freze dizaynı, işleme yapılacak ekipmana uygun olarak yapılmıştır. Dizayn için temel alınan kriterlerin başında işleme yapılacak ekipmanın boyutsal özellikleri gelmektedir. İkinci kriter olarak imalat kolaylığı düşünülmüştür. Sanayide rahat bulunabilecek imalat tezgahları düşünülerek çalışma yapılmıştır. Özel bir tezgah ihtiyacı oluşmaması için gayret gösterilmiştir. Bu amaçla doğrusal sürtünmeli kızaklar dört parça olarak, Y ekseni kaynaklı olarak dizayn edilmişlerdir. Titreşim eğilimini en aza indirmek için yataklamalar ve boşluklar en hassas şekilde dizayn edilmiştir. Analiz çalışmalarında parçalar üzerinde oluşabilecek deformasyonlar incelenmiştir. Bu sayede işlenen parçanın hassasiyetinde oluşacak etki incelenmeye çalışılmıştır. Dizayn aşamasında, tezgahın statik ve dinamik davranışlarını görmek için sonlu elemanlar analizi yapılsa da, civatalı bağlanmış parçalarda olduğu gibi birleşme noktalarında çeşitli arayüzler bulunması, tezgah yapısının modüller şeklinde formüle edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu tezgahın imalatı yapılmış ve sanayide kullanımı sağlanmıştır.

Kaynaklar

[1] Budak, E., Analytical models for high performance milling.Part I:Cutting forces, structural deformations and tolerance integrity. Machine Tools & Manufacture, vol 46, no. X, 1478-1488, 2006

[2] Chen D., Fan J., Zhang F. 2012, "Dynamic and static characteristics of a hydrostatic spindle for machine tools", *Journal of Manufacturing Systems*, sayı 31, s.26-33

[3] Rantatalo M., Aidanpaa J.O., Göransson B., Norman P. 2007. "Milling machine spindle analysis using FEM and non-contact spindle excitation and response measurement", *Machine Tool s & Manufacture,* sayı 47, s.1034-1045

[4] Cao, Y., Altintas, Y. 2007. "Modeling of spindle-bearing and machine tool systems for virtual simulation of milling operations", *Machine Tool s & Manufacture*, sayı 47, s.1342-1350

[5] Altintas, Y., Cao, Y. 2005. "Virtual design and optimization of machine tool spindles", *Manufacturing Technology*, sayı 54, s.379-382

[6] Quintana, G., Ciurana, J. 2011. "Chatter in machining processes: A review", *Machine Tool s & Manufacture*, sayı 51, s.363-376

[7] Dombovari, Z., Iglesias, A., Zatarain, M., Insperger, T. 2011. "Prediction of multiple dominant chatter frequencies in milling processes", *Machine Tool s & Manufacture*, sayı 51, s.457-464

[8] Lin, C. Y., Hung, J. P., Lo, T. L. 2010. "Effect of preload of linear guides on dynamic characteristics of a vertical column-spindle system", sayı 50, s.741-746

[9] Fujita, T., Matsubara, A., Yamazaki, K. 2011. "Experimental characterization of disturbance force in a linear drive system with high-precision rolling guideways", *Machine Tool s & Manufacture*, sayı 51, s.104-111

[10] Majda, P. 2012. "Modeling of geometric errors of linear guideways and their influence on joint kinematic error in machine tools", *Precision Engineering*, sayı 36, s.369-378

CNC TAKIM TEZGÂHI SEÇİMİ İÇİN BULANIK ÇOK KRİTERLİ KARAR VERME METODU

A FUZZY MULTI CRITERIA DECISION MAKING METHOD FOR SELECTION OF CNC MACHINE TOOL

Aytaç YILDIZ [a], Barış ÖZLÜ [b], Harun YAKA [c], Levent UĞUR [d]
[a, c, d] Amasya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Amasya, Türkiye, E-posta: aytacyildiz75@yahoo.com; harun.yaka@amasya.edu.tr; leventozge@gmail.com
[b] Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Aksaray, Türkiye, E-posta: barisozlu@aksaray.edu.tr

Özet

Takım tezgâhı seçimi, bir üretim organizasyonunun üretim stratejisine katkı sağlamada önemli etkilere sahiptir. Ancak bu seçim, takım tezgâhlarının benzerlerinin ve alternatiflerinin çok olmasından dolayı karışık ve zor bir problemdir. Bu yüzden, takım tezgâhlarının seçimi ve değerlendirilmesi çok çelişkili kriterleri kapsayan bir karmaşık karar verme problemidir. Böyle bir durumda, takım tezgâhı alternatiflerinin ve üretim stratejisi arasındaki bağlantıları tanımlamak ve modellemek önemlidir. Literatürde çok miktarda Çok Kriterli Karar Verme yöntemleri (ÇKKV) ile yapılmış takım tezgâhı seçimi çalışması mevcuttur.

Bu çalışmada, CNC takım tezgâhlarını sıralamak için bulanık TOPSIS yöntemi, çok kriterli karar verme yaklaşımı gibi kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler yer almıştır.

Anahtar kelimeler: Takım tezgâhı seçimi, bulanık karar verme, bulanık TOPSIS

Abstract

Machine tool selection has strategic implications that contribute to the manufacturing strategy of a manufacturing organization. But at the same time, it is a complex and difficult problem because of the availability of wide-ranging alternatives and similarities among machine tools. Therefore, evaluation and selection of a machine tool is a complex decision-making problem involving multiple conflicting criteria. In such a case, it is important to identify and model the links between machine tool alternatives and manufacturing strategy. In the literature, there are a wide variety of machine tool selection study with Multi Criteria Decision Making (MCDM) methods. Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) method is used as the MCDM approach to rank the CNC machine tools in this study. At the end of the study, obtained results and evaluations are included.

Keywords: Machine tool selection, fuzzy decision making, fuzzy TOPSIS

1. Giriş

Ekonomik yapılanma nedeniyle, gelişmekte olan ülkeler şu anda imalat sektörüne yoğun yatırım yapmaktadırlar. Birçok işletme ve fabrika, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler, toplumlardaki üretim ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmaktadırlar. Ancak, küreselleşen iş dünyasında, işletmeler rekabetçi ortam ile başa çıkmak için yatırım ve üretim tesislerini geliştirmek zorundadırlar. Bu nedenle yatırımın ve tesislerin iyileştirilmesinin düşünüldüğü durumlarda satın alınması düşünülen takım tezgâhının seçimi, önemli bir karar verme problemi haline gelmektedir ve bu karar verme probleminin çözülmesi üretim sistemlerinin geliştirilmesi ve ayakta kalması için önemli rol oynamaktadır [1]. Çünkü üretimin hızını, ürün kalitesini ve maliyetini etkileyen ve imalat firmalarına rekabet avantajı sağlayan makine-teçhizat seçimi üretim sisteminin performansını doğrudan etkileyen kritik bir yatırım kararıdır [1-4]. Buna bağlı olarak en uygun takım tezgâhı seçimi, firmaların başarısındaki en kritik konulardan biri haline gelmiştir [5, 6]. Uygun bir takım tezgâhı seçmenin ana avantajı sadece üretimin ve teslimatın artırılması değil, aynı zamanda geliştirilmiş ürün kalitesi, artan ürün esnekliği ve geliştirilmiş genel verimliliktir. Buna karşın yanlış bir takım tezgâhı seçimi ise verimlilik, esneklik ve işlem yeteneği gibi genel performans durumlarını olumsuz etkileyen sorunlara neden olabilmektedir [1-4].

Endüstride kullanılan takım tezgâhların birçok farklı türü bulunmaktadır ve birçok takım tezgâhı içerisinden en uygun olanının seçiminde objektif değerlendirme kriterlerinin olmaması karar vericileri zor durumda bırakmaktadır [6]. Üretim sistemlerin ihtiyaç duyduğu yeni takım tezgâhların seçimi oldukça zor ve zaman alıcı bir süreçtir [2] ve yapacağı iş çeşidi, maliyeti, beklenen talep ve işlem süresi dâhil olmak üzere kalitatif ve kantitatif özellikleri içeren birçok kritere bağlı olduğundan çok kriterli karar verme işlemidir [1].

Literatürde, takım tezgâhı seçimi ile ilgili birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlar arasında çok sayıda alternatif arasından en iyi takım tezgâhı seçimini gerçekleştiren çok kriterli karar verme yöntemleri ve mutlak (kesin) sayılar yerine bulanık sayıların kullanıldığı, belirsiz ve kesin olmayan bilgilerin de karar modellerine dâhil edilebilmesini sağlamayan bulanık çok kriterli karar verme yöntemleri en çok kullanılan yöntemlerdendir [5]. Literatürde takım tezgâhı seçimi ile ilgili yapılmış çalışmalardan bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Arslan vd. [2] yaptıkları çalışmada, takım tezgâhı seçiminde dokuz seçim kriterine (verimlilik, esneklik,

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

makine alanı, adapte olabilirlik, hassasiyet, maliyet, güvenilirlik, güvenlik ve çevre, bakım ve servis) bağlı olarak bir karar destek sistemi kurmuşlar ve takım tezgâhı seçimini gerçekleştirmişlerdir.

Kaya vd. [7], yapmış oldukları çalışmada, bir takım tezgâhı seçim probleminde karar verme yöntemi olarak bulanık TOPSIS yöntemini kullanmışlar ve bu süreci bir işletme için en uygun CNC tezgâhı seçimi problemine uygulamışlar. Çalışma sonunda yedi seçim kriteri üzerinden değerlendirme yaparak en uygun olan tezgâh seçimini yapmışlardır.

Dura´n ve Aguilo [8] yaptıkları çalışmada, alternatif üç CNC torna tezgâhı arasından en iyi olanını seçmek için esneklik, operasyon kolaylığı, güvenilirlik, kalite, kurulum kolaylığı ve bakım yapılabilme seçim kriterlerine bağlı olarak bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır.

Tsai vd. [6] çalışmalarında güvenilirlik, maliyet, bakım-servis, güvenlik-çevre ve makine alanı kriterlerine bağlı olarak CNC makine seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır.

Yurdakul vd. [9], çok kriterli karar verme yöntemleri ile takım tezgahı seçiminde kullanılan kriter sayısının seçim sonuçları üzerindeki etkisini araştırmışlar. Çok sayıda kriter kullanımı çok kriterli karar verme yöntemlerinin özellikle birbirine benzeyen işleme merkezlerini birbirinden ayırt etme yeteneğini düşürdüğünden ve kriterlerin bağımsız olmasından dolayı, beş-yedi adet kriter sayısıyla modelin sınırlandırılmasının, sonuçların kriter ağırlığına hassasiyetini artıracağını öngörmüşler ve bu durumları, TOPSIS yöntemi ve Spearman'ın Sıra ilişkisi Testi uygulamasıyla göstermişlerdir.

Önüt vd. [10] yaptıkları çalışmada, Türkiye'deki bir imalat şirketinin dikey CNC işleme merkezlerinin seçimi ve değerlendirmesi probleminin çözümü için bulanık TOPSIS tabanlı bir metodoloji uygulamışlardır. Seçim ve değerlendirme sürecinde; maliyet, operasyon esnekliği, kurulum kolaylığı, servis ve bakım, verimlilik, uyumluluk, güvenlik ve kullanıcı dostluğunu içeren sekiz kriter kullanılmıştır. Kriterlerin ağırlıkları bulanık AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) yöntemi kullanılarak hesaplanmış ve bulanık TOPSIS yöntemi kullanılarak seçim işlemi yapılmıştır.

İç ve Yurdakul [11], çalışmada freze tezgâhlarının seçimine yönelik çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemlerinin bulanık mantıkla uygulandığı bir karar destek sistemi geliştirmişlerdir. Program içerisinde veri tabanından aday tezgâhları belirleyen ön eleme soruları tanımlanan işe uygun aday freze tezgâhlarını belirlerken, bulanık ÇKKV yöntemleri freze tezgâhlarının kendi aralarında sıralanmasını gerçekleştirmiştir.

Perçin [5] çalışmasında, takım tezgâhı seçimi için bütünleşmiş bir bulanık çok kriterli karar verme modeli önermiş ve metal sanayi firmalarına yönelik bir anket uygulamıştır. Bu amaçla ilk olarak, literatür taraması ve uzman görüşleri doğrultusunda CNC tezgahlarının seçimini etkileyen altı (maliyet, güvenlik, verimlilik, esneklik, kullanım kolaylığı, satış sonrası servis) seçim kriterleri belirlemiştir. CNC seçim kriterlerini belirledikten sonra bulanık AHP yaklaşımını kullanarak kriterleri ağırlıklandırmış ve bulanık TOPSIS yöntemi yardımıyla da alternatifleri sıralayarak duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Dört CNC tezgâhı alternatifini değerlendirerek en uygun CNC tezgâhı seçimini yapmıştır.

Nguyen vd. [1] yapılan çalışmada, belirlenen kriterlerin (verimlilik, esneklik, makine alanı, adaptasyon, hassasiyet, güvenilirlik, güvenlik, bakım-servis, maliyet, montaj kolaylığı, kullanım kolaylığı, çevre dostluğu) etkileşimlerinin dikkate alınmasına bağlı olarak bulanık ANP (Analytic Network Process) ve COPRAS-G (COmplex PRoportional ASsessment of alternatives with Grey relations) yöntemlerinden oluşan hibrit bir yaklaşım sunularak tezgâh seçimi yapılmıştır. Çalışma sonunda duyarlılık analizi ve elde edilen sonuçların TOPSIS ve SAW-G yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Yukarıda açıklanan çalışmalardan da görüldüğü gibi takım tezgâhı seçimlerinde çok kriterli karar verme yöntemleri sık sık kullanılmıştır. Bu nedenle bu çalışmada, Türkiye'de imalat sektöründe faaliyet gösteren ve kalıp üretimi yapan bir firmanın satın almayı düşündüğü CNC freze tezgâhının satın alınacağı alternatif beş tezgâh arasından en uygun olanının seçimi için bulanık TOPSIS yöntemi kullanılmıştır.

Bu çalışmanın geri kalanı ise şu şekilde düzenlenmiştir. İkinci bölümde bulanık TOPSIS yöntemi tanımlanmıştır. Üçüncü bölümde CNC freze tezgâhı seçim modeli oluşturularak bulanık TOPSIS yöntemi ile CNC freze tezgâhı seçimi yapılmıştır. Dördüncü bölümde ise sonuç ve değerlendirmeye yer verilmiştir.

2. Bulanık TOPSIS

TOPSIS yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemde temel düşünce, pozitif ideal çözüme en yakın alternatiflerin seçilmesi ve böylece çözümün fayda kriterlerini maksimize ederken maliyet kriterlerini de minimize etmesidir [12,13].

TOPSIS, insanların belirlediği göreceli öncelikler ve puanlamaların yarattığı, tek bir kümeye ait veya net olmayan ifadelerden yararlanır ve bu şekilde tek ve kesin bir ideal sonuca ulaşmayı zorunlu kılmadığından bulanık mantıkla çok uyumlu kullanılan bir yöntemdir. Çünkü TOPSIS'te de aynı bulanık mantıkta olduğu gibi tek bir ideal doğru yoktur, o doğruya tamamen ulaşılamayacağını kabul ederek ona en yakın doğruya ulaşmayı hedefler. "Bulunan sonuç ya idealdir ya değildir" ifadesi yerine "bulunan sonuç ideale en yakın olmalıdır" ifadesiyle bulanık mantıktaki gibi, bir kümeye kısmen de ait olunabileceğini söylemektedir [13]. Bundan dolayı, özellikle kişisel yargıların dilsel veriler ile ifade edildiği gerçek dünya problemlerinde oldukça başarılı uygulama örnekleri sergileyen bulanık TOPSIS yöntemi bulanık ortamlarda grup kararı vermede kullanılabilir. TOPSIS yöntemi uzmanların yargılarını nicel veriler ile ele alan matematiksel bir yöntem olmakla birlikte, bulanık TOPSIS yöntemi uzmanların düşüncelerini belli bir aralıkta ifade etme serbestliği sağladığı için klasik TOPSIS yöntemine üstünlük sağlamaktadır [14]. Yöntemin uygulanabilmesi için karar vericilere, karar kriterlerine ve alternatiflere ihtiyaç duyulmaktadır. Bulanık TOPSIS yönteminde, karar kriterlerinin ve mevcut alternatiflerin değerlendirilmesi dilsel değişkenlerle yapılmaktadır. Yapılan değerlendirmeler

bulanık sayılara dönüştürülerek sayısallaştırıldıktan sonra bulanık ağırlıklar matrisi, bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi elde edilmektedir. Bulanık pozitif ideal çözüm ve bulanık negatif ideal çözüm belirlendikten sonra vertex yöntemi ile alternatiflerin yakınlık katsayıları bulunur ve yakınlık katsayılarına göre mevcut alternatifler en iyiden en kötüye doğru sıralanır [14, 15]. Bulanık TOPSIS yönteminin algoritması is aşağıdaki gibidir [14];

Chen [14] tarafından önerilen bulanık TOPSIS yönteminin ilk adımında, karar vericilerden oluşan bir grup oluşturulur. *N* tane karar vericiden oluşan küme;

$E = \{KV_1, KV_2, \ldots, KV_N\}$ şeklinde ifade edilir. Karar vericilerden oluşan komite oluşturulduktan sonra mevcut alternatifler;

$E = \{A_1, A_2, \ldots\ldots, A_m\}$ ve bu alternatifleri değerlendirmede kullanılacak olan kriterler;

$E = \{K_1, K_2, \ldots\ldots, K_n\}$ belirlenir.

Bunu takiben, alternatiflerin değerlendirilmesinde ve kriterlerin önem ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılacak sözel değişkenler seçilir ve karar vericiler bu sözel değişkenler yardımıyla alternatif ve kriterleri değerlendirirler ve karar vericiler tarafından sözel değişkenler ile yapılan değerlendirmeler bulanık sayılar şeklinde ifade edilir. Bu değerlendirmelerin bulanık sayılar şeklindeki ifadesi Çizelge 1 ve Çizelge 2'deki gibidir.

Çizelge 1. Kriterlerin önem ağırlığının belirlenmesinde kullanılan sözel değişkenler [14].

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 0.1)
Düşük (D)	(0, 0.1, 0.3)
Orta Düşük (OD)	(0.1, 0.3, 0.5)
Orta (O)	(0.3, 0.5, 0.7)
Orta Yüksek (OY)	(0.5, 0.7, 0.9)
Yüksek (Y)	(0.7, 0.9, 1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0.9,1,1)

Çizelge 2. Alternatiflerin değerlendirilmesinde kullanılan sözel değişkenler [14].

Sözel Değişkenler	Üçgen Bulanık Sayılar
Çok Düşük (ÇD)	(0, 0, 1)
Düşük (D)	(0, 1, 3)
Orta Düşük (OD)	(1, 3, 5)
Orta (O)	(3, 5, 7)
Orta Yüksek (OY)	(5, 7, 9)
Yüksek (Y)	(7, 9, 10)
Çok Yüksek (ÇY)	(9, 10, 10)

N tane karar vericinin alternatifler ve kriterler için değerlendirmelerini tek bir değere indirgeyebilmek için aşağıda açıklanan yol izlenir;

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{N}\left[\tilde{x}_{ij}^{\,1}(+)\tilde{x}_{ij}^{\,2}(+)\ldots\ldots(+)\tilde{x}_{ij}^{\,N}\right] \quad (1)$$

Burada, $\tilde{x}_{ij}^{N}$ *N.* karar vericinin değerlendirilmesini göstermektedir. Her kriter için *N* tane karar verici tarafından belirlenen ağırlıkları tek bir değere indirgemek için, $\tilde{w}_j$ şu şekilde hesaplanabilir;

$$\tilde{w}_j = \frac{1}{N}\left[\tilde{w}_j^{\,1}(+)\tilde{w}_j^{\,2}(+)\ldots\ldots(+)\tilde{w}_j^{\,N}\right] \quad (2)$$

burada $\tilde{w}_j^{N}$ *N.* karar vericinin ağırlığını göstermektedir.

Tüm kriterler ve alternatifler için tek bir değer elde edildikten sonra karar problemi matris formatında şu şekilde gösterilir;

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\tilde{W} = \left[\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \cdots \tilde{w}_n\right] \quad (3)$$

Burada $\tilde{x}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ ve $\tilde{w}_j = (w_{j1}, w_{j2}, w_{j3})$ üçgen bulanık sayılar olup, $\tilde{D}$ bulanık karar matrisini, $\tilde{W}$ ise bulanık ağırlıklar matrisini göstermektedir.

Karar matrisinin oluşturulmasından sonraki adım, karar matrisinin normalize edilmesidir. Bulanık karar matrisi, eşitlik (5) ve (6) yardımıyla normalize edilir ve normalize bulanık karar matrisi $\tilde{R}$ elde edilir.

$$\tilde{R} = \left[\tilde{r}_{ij}\right]_{mxn}$$
$$i = 1,2,\ldots,m, \quad j = 1,2,\ldots,n \quad (4)$$

B ve *C*, fayda ve maliyet kriterleri olmak üzere:

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+}\right), \quad j \in B, \qquad u_j^+ = \max_i u_{ij}$$
(5)

$$\tilde{r}_{ij} = \left(\frac{l_j^-}{u_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{l_{ij}}\right), \quad j \in C, \quad l_j^- = \min_i l_{ij}$$
(6)

şeklinde hesaplanır. Burada $r_{ij}, (\forall i, j)$ normalize edilmiş üçgen bulanık sayılardır.

Normalize bulanık karar matrisinin oluşturulmasından sonra, her bir karar kriterinin farklı önem ağırlığına sahip olabileceği dikkate alınarak ağırlıklı normalize bulanık karar matrisi şu şekilde oluşturulur:

$$\tilde{V} = \left[\tilde{v}_{ij}\right]_{mxn}, \; i = 1,2,\ldots\ldots,m; \quad j = 1,2,\ldots\ldots,n \quad (7)$$

Burada, $\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij}(.)\tilde{w}_j$ 'dir. (8)

Ağırlıklı norm alize bulanık karar matrisi oluşturulduktan sonra bulanık pozitif ideal çözüm (FPIS, A^+) ve bulanık negatif ideal çözüm (FNIS, A^-) şu şekilde tanımlanır:

$$A^+ = (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, ..., \tilde{v}_n^+) \quad (9)$$

$$A^- = (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, ..., \tilde{v}_n^-) \quad (10)$$

Burada, $\tilde{v}_{ij}^+ = (1,1,1)$ ve $\tilde{v}_{ij}^- = (0,0,0)$

$j = 1,2,.....,n$ 'dir.

Daha sonra, her alternatifin bulanık pozitif ideal çözüm (A^+) ve bulanık negatif ideal çözüme (A^-) olan uzaklıkları aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$d_i^+ = \sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^+), i = 1,2,.....,m; \quad j = 1,2,.....,n \quad (11)$$

$$d_i^- = \sum_{j=1}^{n} d_v(\tilde{v}_{ij}, \tilde{v}_j^-), i = 1,2,.....,m; \quad j = 1,2,.....,n \quad (12)$$

Burada d_v (*a,b*) iki bulanık sayı arasındaki uzaklığı göstermektedir ve uzaklık eşitlik (13)'te verilen vertex metodu kullanılarak bulunur. Uzaklıkların bulunmasının ardından her alternatife ilişkin yakınlık katsayıları (CC_i) hesaplanır. Yakınlık katsayısı, bulanık pozitif ideal çözüme *(A^+)* ve bulanık negatif ideal çözüme *(A^-)* olan uzaklığı aynı anda dikkate alır.

$$d(a,b) = \sqrt{\frac{1}{3}\left[(l_a - l_b)^2 + (m_a - m_b)^2 + (u_a - u_b)^2\right]},$$

$$d(a,b) \in R^+ \quad (13)$$

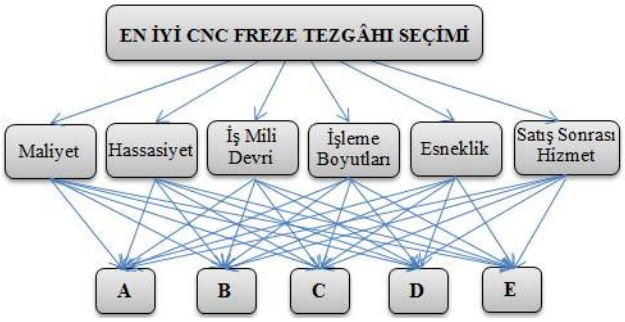
Her alternatifin yakınlık katsayısı:

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^+ + d_i^-}, \quad i = 1,2,.....,m \quad (14)$$

formülüyle hesaplanır. Yakınlık katsayısı 1'e ne kadar yakınsa alternatifin tercih edilme şansı o kadar artar.

3. Uygulama: Bulanık TOPSIS yöntemi ile CNC freze tezgâhı seçimi

Bu çalışmada, Türkiye'de imalat sektöründe faaliyet gösteren ve kalıp üretimi yapan bir firmanın satın almayı düşündüğü CNC freze tezgâhının satın alınacağı alternatif beş tezgâh arasından en uygun olanının seçimi Bulanık TOPSIS yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Satın alınacak en iyi tezgah probleminin çözümü için belirlenen; maliyet, hassasiyet, iş mili devri, işleme boyutları, esneklik ve satış sonrası hizmet seçim kriterleri, literatür taraması ve işletmedeki karar vericilerin görüşleri doğrultusunda belirlenerek Şekil 1'deki gibi oluşturulmuştur.



Şekil 1. CNC freze tezgâhı seçim modeli

Bu bölümde, firmanın belirlediği beş alternatif tezgâh markasından en uygun olanının seçimi için Chen [14]'in bulanık TOPSIS yöntemi algoritmasının adımları kullanılarak problemin çözümü için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Bu kısımda, sadece yöntemin kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar verilecektir.

Tedarikçi seçimi için Şekil 1'de belirtilen CNC freze tezgâhı seçim modeline uygun olarak oluşturulan alternatif tezgâhları değerlendirme formları, işletmede üretim bölümünde görev yapan iki karar verici ve satın alma bölümünde görev yapan bir karar verici olmak üzere toplam üç karar verici tarafından doldurulmuştur.

Bu süreçte karar vericiler, Chen [14]'de verilen dilsel değişkenleri kullanarak CNC freze tezgâhı seçiminde kullanılan seçim kriterlerinin önem ağırlıklarını ve seçim kriterlerine göre alternatif CNC freze tezgâhlarını değerlendirmişlerdir. Alternatif CNC freze tezgâhlarının karar vericiler tarafından değerlendirilmesinden sonra, seçim kriterlerin önem ağırlıklarının hesaplanması için üç karar vericinin her bir seçim kriterine ait üçgen bulanık sayılar şeklindeki değerlendirmelerinin ortalamaları alınarak seçim kriterlerine ait önem ağırlıkları hesaplanmış ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. Seçim kriterlerinin önem ağırlıkları

Seçim Kriterleri	Önem Ağırlıkları (*l, m, u*)
Maliyet	(0.761, 0.932, 1)
Hassasiyet	(0.559, 0.761, 0.932)
İş mili devri	(0.422, 0.626, 0.828)
İşleme boyutları	(0.422, 0.626, 0.828)
Esneklik	(0.574, 0.766, 0.888)
Satış sonrası hizmet	(0.761, 0.932, 1)

Daha sonra alternatiflerin seçim kriterlerine göre değerlendirilme sonuçlarından faydalanılarak her alternatifin seçim kriterlerine göre değerlendirmelerinin ortalaması alınarak, her seçim kriterine göre her alternatif için bir değerlendirme olacak şekilde Çizelge 4'teki bulanık karar matrisi oluşturulmuştur.

Çizelge 4'te görülen bulanık karar matrisi, seçim kriterlerinin faydalarını maksimize edecek şekilde normalize edilerek Çizelge 5'teki normalize edilmiş bulanık karar matrisi oluşturulmuştur. Her seçim kriterinin karar vericiler için farklı önem ağırlıklarına sahip olduğu dikkate alınarak, ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi, normalize edilmiş bulanık karar matrisi ve kriterlerin önem ağırlıkları tablosu yardımıyla oluşturulmuş ve Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 4. Bulanık karar matrisi

Seçim Kriterleri	*Alternatif CNC Freze Tezgâhları*				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Maliyet	(1, 3, 5)	(3.56, 5.59, 7.61)	(0, 0, 2.08)	(6.26, 8.28, 9.65)	(0, 1.44, 3.56)
Hassasiyet	(6.26, 8.28, 9.65)	(6.26, 8.28, 9.65)	(5.59, 7.61, 9.32)	(0, 0, 2.47)	(0, 1.44, 3.56)
İş mili devri	(7.61, 9.32, 10)	(7.61, 9.32, 10)	(5, 7, 9)	(3.56, 5.59, 7.61)	(0, 2.08, 4.22)
İşleme boyutları	(3.56, 5.59, 7.61)	(5.59, 7.61, 9.32)	(0, 1.71, 3.98)	(7.61, 9.32, 10)	(0, 2.08, 4.22)
Esneklik	(7.61, 9.32, 10)	(2.08, 4.22, 6.26)	(1.44, 3.56, 5.59)	(0, 2.47, 4.72)	(9, 10, 10)
Satış sonrası	(4.72, 6.8, 8.57)	(4.22, 6.26, 8.28)	(0, 2.47, 4.72)	(1.44, 3.56, 5.59)	(6.26, 8.28,

Çizelge 5. Normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Seçim Kriterleri	*Alternatif CNC Freze Tezgâhları*				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Maliyet	(0.1,0.31,0.52)	(0.37,0.58,0.79)	(0,0,0.22)	(0.65,0.86,1)	(0,0.41,1)
Hassasiyet	(0.65,0.86,1)	(0.65,0.86,1)	(0.6,0.82,1)	(0,0,0.69)	(0,0.41,1)
İş mili devri	(0.76,0.93,1)	(0.76,0.93,1)	(0.56,0.78,1)	(0.47,0.73,1)	(0,0.49,1)
İşleme boyutları	(0.36,0.56,0.76)	(0.56,0.76,0.93)	(0,0.17,0.4)	(0.76,0.93,1)	(0,0.49,1)
Esneklik	(0.76,0.93,1)	(0.21,0.42,0.63)	(0.14,0.36,0.56)	(0,0.25,0.47)	(0.9,1,1)
Satış sonrası	(0.49,0.7,0.89)	(0.42,0.65,0.86)	(0,0.26,0.49)	(0.15,0.37,0.58)	(0.65,0.86,1)

Çizelge 6. Ağırlıklı normalize edilmiş bulanık karar matrisi

Seçim Kriterleri	*Alternatif CNC Freze Tezgâhları*				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Maliyet	(0.08,0.29,0.52)	(0.28,0.54,0.79)	(0,0,0.22)	(0.49,0.8,1)	(0,0.38,1)
Hassasiyet	(0.36,0.65,0.93)	(0.36,0.65,0.93)	(0.34,0.62,0.93)	(0,0,0.65)	(0,0.31,0.93)
İş mili devri	(0.32,0.58,0.83)	(0.32,0.58,0.83)	(0.23,0.49,0.83)	(0.2,0.46,0.83)	(0,0.31,0.83)
İşleme boyutları	(0.15,0.35,0.63)	(0.24,0.48,0.77)	(0,0.11,0.33)	(0.32,0.58,0.83)	(0,0.31,0.83)
Esneklik	(0.44,0.71,0.89)	(0.12,0.32,0.56)	(0.08,0.27,0.5)	(0,0.19,0.42)	(0.52,0.77,0.89)
Satış sonrası	(0.37,0.66,0.89)	(0.32,0.6,0.86)	(0,0.24,0.49)	(0.11,0.34,0.58)	(0.49,0.8,1)

Daha sonra alternatiflerin bulanık pozitif ideal çözümden (BPİÇ) olan uzaklıkları (d_i^+) ve bulanık negatif ideal çözümden (BNİÇ) olan uzaklıkları (d_i^-) vertex yöntemi yardımıyla hesaplanarak Çizelge 7 ve Çizelge 8 oluşturulmuştur.

Çizelge 7. Her kriter için d_i^+ değerleri

Seçim Kriterleri	*di+*				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Maliyet	0.727	0.508	0.934	0.315	0.680
Hassasiyet	0.421	0.421	0.443	0.842	0.703
İş mili devri	0.471	0.471	0.541	0.568	0.709
İşleme boyutları	0.654	0.551	0.865	0.471	0.709
Esneklik	0.370	0.691	0.736	0.816	0.317
Satış sonrası hizmet	0.418	0.461	0.784	0.682	0.315

Çizelge 8. Her kriter için d_i^- değerleri

Seçim Kriterleri	*di+*				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
Maliyet	0.346	0.575	0.124	0.792	0.617
Hassasiyet	0.689	0.689	0.675	0.373	0.567
İş mili devri	0.613	0.613	0.571	0.558	0.510
İşleme boyutları	0.425	0.541	0.200	0.613	0.510
Esneklik	0.705	0.377	0.331	0.265	0.740
Satış sonrası hizmet	0.673	0.633	0.314	0.394	0.792

Uzaklıkların hesaplanmasından sonra her alternatifin her seçim kriteri için hesaplanan d_i^+ ve d_i^- uzaklıkları toplanmış ve bu uzaklıklara bağlı olarak her alternatifin yakınlık katsayıları (CC_i) hesaplanmış ve bu sonuçlar Çizelge 9'da verilmiştir.

Çizelge 9. Alternatiflerin d_i^+, d_i^- ve CC_i değerleri

	Alternatif CNC Freze Tezgâhları				
	A	*B*	*C*	*D*	*E*
d_i^+	3.061	3.102	4.303	3.692	3.432
d_i^-	3.451	3.429	2.215	2.996	3.736
CC_i	*0.530*	0.525	0.340	0.448	0.521

Çizelge 9'a göre beş alternatif CNC freze tezgâhının seçim kriterlerine göre, üç karar verici tarafından gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda yakınlık katsayıları büyükten küçüğe doğru $CC_A > CC_B > CC_E > CC_D > CC_C$ şeklinde olduğundan "*A*" CNC freze tezgâhının *en iyi* CNC freze tezgâhı, *"B"* CNC freze tezgâhının *ikinci alternatif ve "C"* CNC freze tezgâhının da en son tercih edilebilecek alternatif olduğu görülmüştür. Bu sonuca göre firmanın alternatif CNC freze tezgâhlarından en yüksek yakınlık katsayısı değerine sahip olan "*A*" CNC freze tezgâhını seçmesi daha uygun olacaktır.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

4. Sonuç ve Değerlendirme

Günümüzde üretimin her bölümünde kullanılmakta olan CNC takım tezgâhlarını üreten firma sayısına paralel olarak aynı model tezgâhların çok farklı özelliklere sahip versiyonları da her geçen gün tezgâh piyasasındaki yerini almaktadır. Bu nedenle özellikle küçük ve orta boyutlu işletmeler bu tür ileri teknoloji içeren tezgâh ve sistemlerine yatırım yapmayı düşündükleri zaman çok iyi bir fizibilite çalışması yapmak ve işletmelerine en uygun tezgâhı seçmek zorundadırlar. Ancak model, çeşitlilik ve özellik bakımından oldukça geniş bir yelpazeye sahip olan bu tezgâhlar arasından seçim yapabilmek oldukça karmaşık fakat önemli bir karar problemi olarak karşımıza çıkmaktadır.

İşletmeler açısından çok önemli olan bu karar problemlerinin çözümünde matematiksel, sezgisel ya da çok kriterli karar verme yöntemleri ile çözüldüğü görülmektedir. Takım tezgahlarının seçiminde birçok kriter etkili olduğundan bu çalışmada, nitel ve nicel çok sayıda kriter ya da amacı dikkate alarak değerlendirme yapan bulanık TOPSIS yöntemi CNC freze tezgahı seçiminde kullanılmıştır.

Yöntemin uygulama adımları tamamlandığında, dikkate alınan kriterler doğrultusunda, alternatif beş CNC freze tezgâhından yakınlık katsayı değeri en yüksek olan *"A"* CNC freze tezgâhının seçilmesi uygun bulunmuştur.

Çalışmada kullanılan bulanık TOPSIS yöntemi, karar kriterlerine farklı önem ağırlığı verilebilme imkânı tanıyarak karar vericilerin alternatifler içinden daha hassas ve daha güvenilir seçim yapmasını kolaylaştırmaktadır. Yöntem, birbirine çok benzer nitelikler taşıyan ve bu nedenle aralarından seçim yapmanın çok güç olduğu durumlarda karar vermeyi kolaylaştırmaktadır. Ayrıca bulanık TOPSIS yöntemi ile karar vericilerin düşünceleri alınarak değerleme yapıldığı için karar vericiler içinde yaşanabilecek muhtemel çatışmaların da önüne geçilebilmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalarda, bu çalışmadaki seçim problemi, kriterler arası etkileşimi de dikkate alan bulanık ANP yöntemiyle çözülebilir ve elde edilen sonuç bu çalışmanın sonuçlarıyla karşılaştırılarak seçim işlemi de yapılabilir.

Kaynaklar

[1] Nguyen, H.-T., Dawal, S.Z.M., Nukman, Y. and Aoyama, H., A hybrid approach for fuzzy multi-attribute decision making in machine tool selection with consideration of the interactions of attributes, Expert Systems with Applications. vol. 41, no. 6, pp. 3078-3090, 2014.

[2] Arslan, M.Ç., Çatay, B. and Budak, E., A decision support system for machine tool selection, Journal of Manufacturing Technology Management. vol 15, no. 1, pp. 101-109, 2004.

[3] Ertuğrul, İ. and Güneş, M., Fuzzy multi-criteria decision making method for machine selection, Analysis and Design of Intelligent Systems using Soft Computing Techniques. vol. 41, pp. 638-648, 2007.

[4] Athawale, V.M., and Chakraborty, S., A TOPSIS method-based Approach to machine tool selection, Proceedings of the 2010 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Dhaka, Bangladesh, January 9-10, 65-70, 2010.

[5] Perçin, S., Bulanık AHS ve TOPSIS yaklaşımının makine-teçhizat seçimine uygulanması, Ç.Ü. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. Vol. 21, no. 1, pp. 169-184, 2012.

[6] Tsai, J.-P., Wang, S.-Y., Cheng, H.-Y. and Kao, Y.-C., Multi-criteria decision making method for selection of machine tool, International Symposium on Computer, Communication, Control and Automation. 49-52, 2010.

[7] Kaya, İ., Kılınç, M.S. and Çevikcan, E., Makine-teçhizat seçim probleminde bulanık karar verme süreci, Mühendis ve Makina Dergisi. Vol. 49, no. 576, pp. 8-14, 2007.

[8] Duran, O. and Aguilo, J., Computer-aided machine-tool selection based on a fuzzy-AHP approach, Expert Systems with Applications. Vol. 34, no. 3, pp. 1787-1794, 2008.

[9] Yurdakul, M., İç, Y.T. and Doğramacı, T., CNC işleme merkezlerinin seçiminde değerlendirilmesi gereken temel tasarım unsurları, 1. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu. Çankaya Üniversitesi, Ankara, 24-25 Nisan, 362-374, 2008.

[10] Önüt, S., Kara, S.S. and Efendigil, T., A hybrid fuzzy MCDM approach to machine tool selection, Journal of Intelligent Manufacturing. vol. 19, no. 4, pp. 443-453, 2008.

[11] İç, Y.T. and Yurdakul, M., İşleme merkezi seçimine yönelik bir karar destek sisteminin geliştirilmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. vol. 23, no 1, pp. 85-95, 2008.

[12] Hwang, C.L. and Yoon, K., Multiple attribute decision making methods and applications, Springer-Verlag. New York, 1981.

[13] Chen, C.F. and Tsai, D., How destination image and evaluative factors affect behavioural intentions? Tourism Management. Vol. 28, pp. 1115-1122, 2007.

[14] Chen, C.T., Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment, Fuzzy Sets and Systems. vol. 114, pp. 1-9, 2000.

[15] Küçük, O. and Ecer, F., Bulanık TOPSIS kullanılarak tedarikçilerin değerlendirilmesi ve Erzurum'da bir uygulama, Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi. vol. 3, no. 1, pp. 45-65, 2007.

CNC BORU BÜKME VE KESME TEZGÂH TASARIMI VE PROTOTİPİ

CNC PIPE BENDING AND CUTTING MACHINE DESIGN AND ITS PROTOTYPE

Yasin ÖZKAYA [a], Kerim ÇETİNKAYA [b]
[a] Elipsan A.Ş., Bursa, Türkiye, E-posta: yasinozkaya@elipsan.com.tr
[b] Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Türkiye
E-posta: kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Özet

Boru bükme, belirli bir şekle ve dizayna sahip boruların yeniden şekillendirilmesinde kullanılan işlemdir. Bu çalışma, mesleki ve teknik okullarda eğitim amaçlı, orta ölçekli işletmelerde düşük maliyetli imalat, meraklı kişiler tarafından hobi amaçlı kullanılmak üzere imal edildi. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhı Tasarımı tamamlanıp, Prototip imalatı yapıldı. Mekanik sisteminin eksen özellikleri; X, Y, Z doğrusal hareket ve 4. eksen ise dönel harekete sahiptir. Tezgâh; 550×1000×600 mm (en×boy×yükseklik) ölçülerinde olup, çapları; Ø13, Ø16, Ø19 mm, et kalınlıkları ise 0,8 ve 0,9 mm' ye sahip iş parçalarının, maksimum 90˚ derece bükme özelliğine sahiptir. Gövde aksamı platina, sac ve 50 × 50 mm köşebentlerden yapılmıştır. Doğrusal eksen hareketlerinde; vidalı mil ve bilyalı somun çifti, vidalı milin yataklanması, tahrikinde ise adım (step) motorlar kullanıldı. Dönel eksen hareketinde 160 mm' lık torna aynası, rulmanlar ile yataklanarak, adım (step) motor ile dönme hareketi sağlandı. Tezgâhta bükümü yapılacak iş parçasının sıkılması; torna aynası çenelerine sabitlenen 3 adet pnömatik piston ile yapıldı (Pnömatik Sistem). Elektronik sistemi; 4 adet adım (step) motor, 4 eksen sürücü kartı, güç kaynağı ve inventerden oluşmaktadır. Tezgâhın, doğrusal ve dönel eksen hareketlerini bilgisayar ortamından kontrol etmek için gerekli donanımla donatıldı (Elektronik Sistem). Tezgâh; kontrol yazılımı olarak Mach3 CNC programı tercih edildi. Tezgâhın X, Y, Z, ve 4. eksen hassasiyet ve doğruluk değerlerinin tespiti için deneyler gerçekleştirildi. Deneylerde; bilgisayar ortamından iş parçasına belirli uzunlukta (mm) ilerleme verildi, gerçekleşen ilerleme ile karşılaştırılma yapılıp, ilerleme hassasiyeti tespit edildi. Aynı şekilde iş parçasına belirli döndürme derecesi verildi, gerçekleşen derece ile karşılaştırma yapılıp, döndürme derecesi hassasiyeti tespit edildi.

Anahtar Kelimeler: Boru Bükme, CAD/CAM, CNC

Abstract

Pipe bending, having a specific shape and design of the pipes is the process used in reshaping. This study aimed at vocational and technical education in the schools, in the low cost manufacturing medium sized businesses, by people curious hobby was manufactured to be used for. CNC Pipe Bending and Cutting Machine Design completed, the prototype was manufactured. CNC Pipe Bending and Cutting Machine Design completed, The prototype was manufactured. Mechanical characteristics of the system axis, the X, Y, Z rectilinear motion and 4 axis has the rotary movement. Bench, 550×1000×600 mm (width×length×height) and, diameters, Ø13, Ø16, Ø19 mm, wall thickness 0,8 mm and 0,9 mm to workpieces, the maximum of 90˚ degree bend is capable of. Body parts to plate, sheet and is made from 50 x 50 mm gusset. In linear motion axis; a pair of ball screw and ball nut, ball screw mounts, the propulsion step engines were used. 160 mm rotary axis movements health chuck, bearings and bearing from step was provided with the engine rotation. Twist a piece of work to be done on the counter tightening; chuck jaws were fixed with 3 pneumatic piston (Pneumatic System). Electronic system; 4 step engine, 4 axis driver board, power supply and consists of inventer. Counter, linear and rotary axis movements from a computer equipped with the necessary equipment to control (Electronic Systems). Machine; Mach3 CNC control software program was preferred. Counter X, Y, Z, and 4 axis sensitivity and accuracy for the detection of experiments was carried out. In the experiments, the computing environment workpiece certain length (mm) feed was given in comparison to the actual progress made progress sensitivity was determined. Likewise certain degree of rotation of the workpiece given the actual comparison made by degrees, the sensitivity degree of rotation detected.

Keywords: Pipe Bending, CAD/CAM, CNC

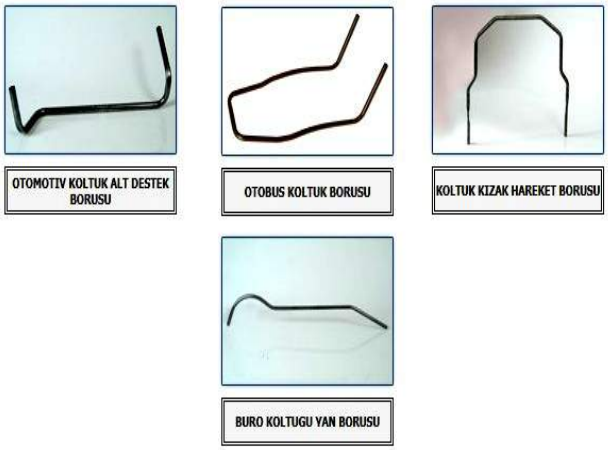
1. Giriş

Boru bükme ile ilgili çalışmalar 1960 ortalarında tamamen insan gücüne dayalı el aparatı yöntemiyle yapılmaktaydı. Küçük bir aile işletmesi olan CANSA MAKİNA kendi ihtiyacını karşılayabilmesi için 1979 yılında Türkiye'nin ilk yerli boru bükme makinasını üretti. 1985 – 1990 yılları arasında üretimine manuel sistemlerle devam eden firma hidrolik sistemleri de ekleyerek, hidrolik boru bükme makinasının imalatına başladı [2]. Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrollü (CNC) Boru Bükme Tezgâhları 90'lı yıllardan itibaren yaygınlaşmaya başladı [3].

Günümüzde boru bükme işlemleri imalat sanayinde geniş uygulama alanına sahiptir. Otomobil, Uçak ve Gemi imalat endüstrileri ile Mobilya ve Büro Mobilyaları imalat sanayinde, Endüstriyel Mutfak imalatında bazı parçaların imalatları boru bükme tezgâhlarının sıklıkla kullanıldığı alanlar olarak sıralanabilmektedir. Otobüs, Midibüs ve Minibüslerde; tutunma boruları, koltuk boruları, Otomobillerde; koltuk kızak hareket boruları, koltuk alt destek boruları [4]. Büro Mobilyalarında ise büro koltuğu

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

altlığı, dekoratif eşya boruları ve sehpa boruları vs. parçaların imalatları geleneksel boru bükme yöntemi ile operatör yardımıyla gerçekleştirilebileceği gibi CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhları kullanılarak Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrollü (CNC) bir şekilde de gerçekleştirilebilir. CNC Boru Bükme ve Tezgâhlarında yapılan bazı parçalar Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhında Yapılmış Parçalar

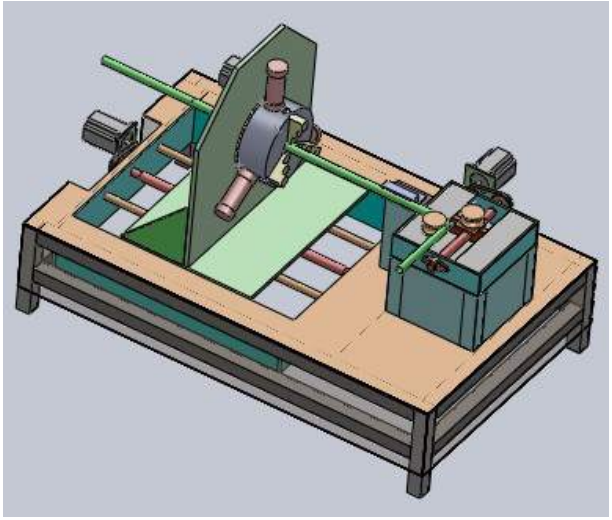
Boru bükme işlemleri; çeşitli yöntemlerle tahrik edilmiş tezgâhlar kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Bu tezgâhlar hidrolik, pnömatik, elektro-mekanik, elle kumandalı veya bilgisayar destekli sayısal kontrollü yöntemlerle tahrik edilebilmektedir.

CNC Boru Bükme Tezgâhları günümüzde artık yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tezgâhların avantajlarından birkaçını söyleyecek olsak; hassasiyet, güvenilirlik, ekonomiklik ve zaman kavramlarını sıralayabiliriz. Zaman kavramını ele aldığımızda CNC boru bükme tezgâhında gerçekleştirdiğimiz bir parçanın işlem süresi ile geleneksel yöntemlerle yapılan boru bükme işlem süresini kıyasladığımızda çok büyük bir fark olduğunu görebiliriz. Bu yüzden geleneksel yöntemlerle yapılan boru bükme işlemlerinin uygulama alanları her geçen gün daha da azalmaktadır. CNC boru bükme tezgâhları ile yapılan bir parçanın işlem süresini önceden tayin edebilir, her defasında aynı kalite ve özellikte (ölçülerinde) parça üretimi yapılabilmektedir.

2. Materyal ve Metot

CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhı Tasarımı Bilgisayar ortamında Solid Works 2013 programı kullanılarak 3 Boyut (3B) modellemesi yapıldı. Tasarımı yapılan CNC Tezgâh Modeli Şekil 2'de görülmektedir.

Tasarımı tamamlanan CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhının prototip imalatına geçildi. Tezgâh Prototip imalatı aşamasından bir görüntü Şekil 3'de görülmektedir. Bu aşamada kullanılacak malzemelerin fiyat araştırılması yapılıp, uygun fiyat ve kaliteli malzemelerin tedariki sağlandı. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhının; ana tabla sacı, ayna grubu; ayna sacı, ayna alt tabla sacı, ön ve yan sacları, boru büküm makaraları (kalıpları); ana tabla sacı, ön sacı, yan sacı ve diğer ikinci derecedeki (braketler, vidalı somun braketi vs.) parçalar bilgisayar ortamında Auto CAD 2014 programı kullanılarak 2 Boyutlu (2B) çizimleri yapıldı. Auto CAD 2014 programında çizim görüntüleri Şekil 4'te görülmektedir.



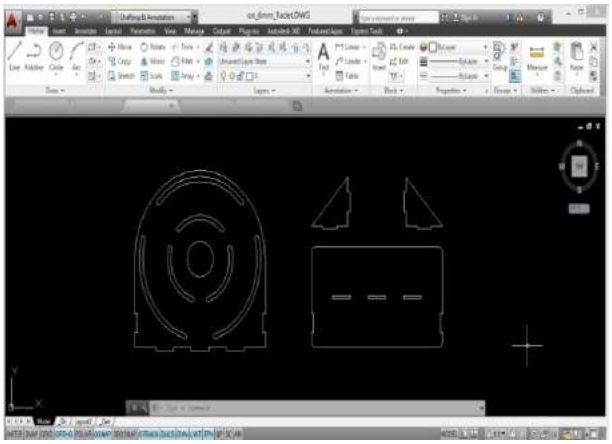
Şekil 2. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhı

Şekil 3. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhı Prototip İmalatı Aşamasından Bir Görüntü

Çizimler CNC Lazerde birinci derecedeki parçalar (Tezgâh ana tabla sacı, Ayna Grubu; ayna sacı, ön ve yan sacları vs.) 6 mm kalınlıktaki saçtan, ikinci derecedeki (braketler, vidalı somun braketi vs.) parçalar ise 3 mm kalınlıktaki sactan kesimleri gerçekleştirildi. Kesimi gerçekleştirilen parçalardan vidalı somun braketi, ayna grubu ön sacı vs. parçalar abkantta istenilen büküm derecesinde büküm işlemi yapıldı.

CNC Tezgâhta çapları; Ø13, Ø16, Ø19 mm, et kalınlıkları ise 0,8 mm ve 0,9 mm' ye sahip boruların bükümü yapılabilmesi için, büküm işlemini gerçekleştirilecek makaraların (kalıpların) üretimi Ø50 mm' lik içi dolu boru ilgili boy ölçüsünde profil kesme tezgâhında kesilerek,

kesilen parçalar çapları; Ø13, Ø16, Ø19 mm borular için ilgili borulara ait kalıplar Torna Tezgâhında yapımı gerçekleştirildi. Yapımı gerçekleştirilen bükme makaraları (kalıpları) Şekil 5'te görüldüğü gibidir. CNC Tezgâhında; 1. Eksen (Ayna Grubu ilerlemesinin sağlanması) ve 3. Eksen (boru büküm operasyonunun gerçekleşmesini) eksen hareketlerinde kullanılan kılavuz miller Ø18 mm transmisyon milleri istenilen boyda kesimi gerçekleştirilip uçları Ø4,5 mm matkap ucu ile 12 mm boya sahip delikler matkap tezgâhında açıldı, transmisyon millerinin montajının yapılabilmesi için deliklere M6 diş açıldı.



Şekil 4. AutoCAD 2014 2B Çizimleri

Şekil 5. Torna Tezgâhında Yapılan Bükme Makaraları (Kalıplar)

CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhında; 1. Eksen Ayna Grubu ilerlemesinin sağlanmasını, 2. Eksen Boru ilerlemesinin sağlanmasını, 3. Eksen Boru Bükme operasyonunun gerçekleştirilmesini, 4. Eksen ise Borunun istenilen derecede döndürülmesini sağlamaktadır.

CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhında; işlem parçasını (Ø13, Ø16 veya Ø19 mm çapa sahip boruyu) tezgâha konulmasında Ayna Grubunda bulunan 3 adet pnömatik piston yardımıyla sıkma işlemi gerçekleştirildi. CNC Tezgâhta Kesme operasyonunun gerçekleştirilmesi için ise 90 derece havalı kalıpçı taşlama makinası kullanıldı. 90 derece havalı kalıpçı taşlama makinası Şekil 6'da görülmektedir.

Şekil 6. 90 Derece Havalı Kalıpçı Taşlama Makinası

Torna Tezgâhında havalı kalıpçı taşlama makinasının ucuna yapılan aparat ile kesicinin takıldığı görüntü Şekil 7'deki gibidir.

Şekil 7. Torna Tezgâhında Ucuna Yapılan Aparat ile Kesicinin Takılması

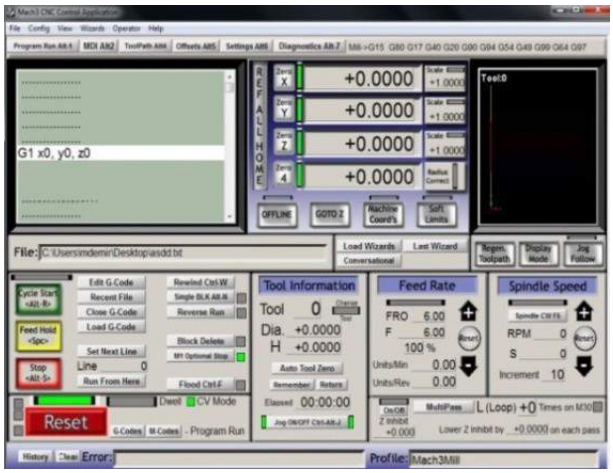
90 derece havalı kalıpçı taşlama makinasına takılan karbür daire testere Şekil 8'de görülmektedir. Kesme operasyonu; 90 derece havalı kalıpçı taşlama makinasının pnömatik sistem yardımıyla uygun hız ayarı yapıldı ve aşağıdan yukarıya doğru belirli hızda hareket ederek boru kesim işlemi gerçekleştirildi. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhının yapım aşamasından bir görüntü Şekil 9'da görüldüğü gibidir.

Şekil 8. Karbür Daire Testere (Ø100 mm)

Şekil 9. CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhı Prototip Yapım Aşamasından Bir Görüntü (Kesme Operasyonun denenmesi anı)

3. Deneysel Çalışmalar

CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhında; üretimi yapılacak iş parçasının (Ø13, Ø16 veya Ø19 mm) ilgili çaptaki boru temin edilir. Uygulamada Ø16 mm, et kalınlığı 0,8 mm' ye sahip boru seçildi. CNC Tezgâhta öncelikle bükme operasyonunun gerçekleştirileceği çaptaki boruya ilişkin bükme makaraları (kalıpları) tezgâhta ilgili yerlerine takılır. Daha sonrasında temin edilen Ø16 mm, et kalınlığı 0,8 mm'ye sahip boru CNC Tezgâhta dayamaya dayanana kadar konur, dayandığı anda Boru Ayna Grubundaki pnömatik pistonlar yardımıyla sıkma işlemi gerçekleştirilir (elle kumandalı – valf ile), iş parçası Mach 3 programından verilen komut ile istenilen derecede büküm işlemi gerçekleştirildi. Mach3 Programının Ana Menüsü Şekil 10'daki gibidir.



Şekil 10. Mach3 Programı Ana Menüsü

İş parçasının büküm operasyonu gerçekleştirildikten sonra istenilen derecede Ayna Grubu (4. Eksen) döndürme yapıldı ve Ayna Grubundaki pistonlar açıldı, boru istenilen ölçüde (mm) ilerlemesi sağlandı (2. Eksen) sonrasında Ayna Grubundaki pistonlar yardımıyla tekrar boru sıkma işlemi gerçekleştirildi (elle kumandalı - valf ile) bilgisayardan verilen komut ile istenilen derecede tekrar bükme operasyonu yapılır ve iş parçasının bükme operasyonları tamamlandı. İş Parçasının bükme operasyonunun tamamlanmasından sonra ilgili yerinden kesim operasyonu gerçekleştirildi. İş parçası tüm operasyonların gerçekleştirilmesinden sonra üretimi tamamlandı. Üretimi tamamlanan iş parçasının boyut ölçümleri aşamasına gelindi. Boyut ölçümlerinin yapılabilmesi için uygun ortam şartları sağlandıktan sonra ölçümler gerçekleştirildi.

4. Bulgular ve Tartışma

CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhı 3 Boyutlu (3B) modellenen şekli ile prototip imalatı yapılmıştır, Tezgâh Mekanik Sistemi; Tasarımda belirtilen ölçülerde, kaliteli parçalar kullanılarak (vidalı mil ve bilyalı somun çifti, transmisyon mili, step motor vs.) ve üretimi yapılarak (bükme makaraları – kalıplar, kılavuz yatakları vs.) montaj işlemi sorunsuz şekilde yapılmıştır. Tezgâh Eksenlerinin (1.Eksen, 2. Eksen ve 3. Eksen) Doğrusal Hareketleri ve (4.Eksen) Dönel Hareketleri sorunsuz bir şekilde çalışmıştır. Tezgâh Pnömatik sisteminde kullanılan pistonlar, pnömatik sistem elemanları (piston, valf, kısıcılar vs.) sorunsuz bir şekilde çalışmıştır. Kesme operasyonunda kullanılan 90 derece havalı kalıpçı taşlama makinası ucuna yapılan aparat ile bu aparata takılan kesici (karbür testere) ile iş parçası kesimi başarıyla yapıldı.

Bu çalışmada Tezgâh ağırlığını azaltmak adına yapılması gerekenleri sıralayacak olursak; Tezgâh ana tabla sacı, Ayna Grubu; ayna sacı vs. saclar 5 mm kalınlığında yapımı uygundur, aynı zamanda Ayna Grubu, ayna alt tabla sacı ve yan sacı sigma profillerden (alüminyum) yapılabilir. Sistemde kullanılan kılavuz miller daha küçük çapta ve krom kaplı transmisyon milleri kullanımı uygun görülür.

5. Sonuç

Tezgâhta çapları Ø13, Ø16 ve Ø19 mm' ye sahip borular istenilen ölçülerde bükme ve kesme operasyonları başarıyla yapıldı. İmalatı yapılan tezgâhın avantajlarından birisi de düşük maliyetli oluşudur. Düşük bir maliyet gerektiren Tezgâh Eğitim kurumlarımızın Atölyelerinde, küçük orta ölçekli işletmelerde ve meraklı kişilerce hobi amacıyla kullanılması uygun görülmüştür.

CNC Boru Bükme ve Kesme Tezgâhının Mekanik ve Elektronik Sistemlerinin montajları başarılı bir şekilde yapılmıştır. İş parçasının üretimi uygun ölçülerde (toleranslar içerisinde) gerçekleştirilmiştir.

Tezgâhta iş parçasının üretimi aşamasında bilgisayar ortamından kontrolü yapmak adına yazılım olarak Mach3 programı kullanılmıştır.

Kaynaklar

[1] Uyanık, A., Şimşek, İ., Aytan, İ., Onat, M. ve Erdal, H., "Üç Eksenli Yüzey İşleme Tezgâhının Bilgisayar İle Kontrolü", Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), Karabük, (2009).

[2] http://www.cansamakina.com/sayfa/tarihce.html

[3] Sözen, L., "Boru Bükme Operasyonu Sonucunda Meydana Gelen Geri Yaylanma Miktarının Öngörülmesi", TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, (2011).

[4] http://www.makimakine.com/urunler.php

[5] http://www.usmekatronik.com

[6] Koleri, A., Çetinkaya, K., "Masa Üstü CNC Freze Tezgâh Tasarımı ve Prototipi", Proje Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı, Çankırı, Ilgaz, 25 - 27 Mayıs (2012).

[7] Mach 3 CNC Kontrol Yazılımı, (2014) http://www.mach3turkiye.com

[8] MEGEP, "Boruları Bükme", Ankara, (2006).

[9] Büyükşahin, U. , "Üç Eksenli CNC Tezgâh Tasarımı ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2005).

[10] Kaygısız H. , Çetinkaya K. , "CNC freze eğitim seti tasarımı ve uygulaması", SDU International Journal of Technologic Sciences, 2 (3): 53-71 (2010).

[11] Özdeveci, M., "Eğitim Tipi Frezesinin Tasarımı ve İmalatı", Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2001).

[12] Kaygısız, H., ve Çetinkaya, K., "CNC Freze Eğitim Seti Tasarımı ve Uygulaması", SDÜ International Journal of Technologic Sciences, Isparta, (2010).

[13] CNC Kontrol Demo Yazılımı ve Kullanım Kılavuzu; http://www.robosan.com.tr (2014).

[14] Göloğlu, C. ve Bunarbaşı, İ., "Üç Eksenli Doğrusal Hareket Mekanizması Tasarımı Ve İmalatı", Teknoloji, 7(3): 507-515, (2004).

A GUIDE ON BUILDING YOUR OWN MICRO 5-AXIS CNC MILLING MACHINE

Syed Arslan Hassan Naqvi [a], Kerim Cetinkaya [b]
[a] Karabuk University, Karabuk, Turkey, E-mail: arslannaqvi145@hotmail.com
[b] Karabuk University, Karabuk, Turkey, E-mail: kcetinkaya@karabuk.edu.tr

Abstract

CNC (Computer Numerical Control) machine is the heart of many manufacturing industries and technical training institutes worldwide, but large CNC machines are not always desired. Using only 3-axis machines is sometimes not enough, and cheaper 4 or 5-axis CNC machines are needed. In this study, a prototye of micro cost-effective, efficient, and reliable 5-axis CNC milling machine was designed and constructed. The construction process is explained step by step and the list of parts necessary for this is also given. The process of generating G codes for the desired shape of the workpiece through Mastercam X3 programme is also described. The procedure for controlling this machine and for machining complicated 3-dimensional parts using generated G codes and Mach3 programme is also explained in detailed. The constructed machine can be successfully used for small-scale applications and educational purposes. The machine would also assist design and several other engineering students in building their CNC machines and in learning how to control micro 5-axis CNC milling machines.

Keywords: 5-Axis CNC, Prototype, Control, CAD/CAM, Mach3

1. Introduction

Most of the machine tools, which have a radical effect on the growth of manufacturing worldwide, can be controlled by computers. This controlling method is called CNC (Computer Numerical Control). The CNC machine tools are the machines that are used for successful design and manufacturing processes in a wide range of sectors. The CNC milling, CNC turning, and CNC drilling machines are the examples of CNC machine tools [1].

Since the first NC (numerical control) machine was developed in the 1950s, CNC machines play a vital role in production today. CNC machines can now be used to produce a colossal range of geometrically complex components, from micro- to multi-metet sized parts, from different materials such as wood, aluminium and titanium alloys, etc. CNC machines are the major contributors tothe production capacity of the enterprises in the field of manufacturing. CNC machines are now being consumed in more than 70% of factories across the USA and the UK, and are currently considered as the heart of machining workshops [2-4].

Today's product designer is being asked to develop high quality, innovative products at an ever increasing pace. Design is a purposeful process involving creative thinking and problem solving. Design and knowledge have a very strong connection: recollection and application of knowledge can be considered as a straightforward and practical design process. The goal of the next generation of CNC machines is to be portable, interoperable, and adaptable [5,6].

In order to conduct machining tests on a composite material, a low cost, high-speed cutting machine was built using linear motors. The rotary drive motors and ballscrews were used to achieve table motion. The prototype of an inexpensive CNC lathe machine was designed and manufactured to facilitate the CNC education in Korea. The machining system was developed using a three-axis CNC milling/drilling machine, a microprocessor, system software, and an automatically programmed tools (APT) processor. A small scale construction and fundamental features with simple software format make the CNC system a versatile educational tool [7-9].

CNC milling machine is basically a computer guided machine tool, which can be used to create complex shape parts demended by lastet technology. A milling machine can be very complicated and can have up to 9 axes. CNC milling machine is able to support translational or rotational movements and therefore it can create very complex parts with an improved surface finish [16].

As the automation progresses in the manufacturing plants, the number of specialized products increase rapidly. Furthermore, there is an increased need for engineers trained in CAD (Computer Aided Design)/CAM (Computer Aided Manufacturing) for process design and operation. This development necessitates detaill and systematic education in CAD/CAM and educational numerical control machine tools. Programming of multi-axis mahines has become increasingly complex to the point where computer aided process planning (CAPP) and computer aided manufacturing (CAM) software packages are required to achieve any functionality beyond very simple machining tasks. The performance of Computer aided design (CAD)/ (CAM)/CNC chain can have a significant effect on the competitiveness of the manufacturing enterprises, comprising CNC machines. The different components of the CAD/CAM/CNC chain can exchange information with one another regardless of their native standards [8, 10, 11].

Workshop or Laboratory education in CAD/CAM software and CNC machine programming and operation is very important in order to teach mechanical, manufacturing, and production engineering students at the undergraduate level. However, in many engineering educational institutions

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

the CAD/CAM and Manufacturing Technology Laboratories and workshops are equipped mainly with large commercial CNCmachines, which are quite expensive andare overdesigned, considering the pedagogical needs of undergraduate students. They demand costly annual maintenance or any sudden breakdown and are time-consuming, as they are difficult to operate[13].

In this study, a prototype of smart 5-axis CNC milling machine was designed and constructed as a sample for the guidance of the engineering students from different departments in Turkey. The study is also intented to make this machine useful for training at technical institues and institutions, and also for small-scale manufacturing at small enterprises. After the completion of design and construction stage, the methodology to control this machine and manufacture complex shape parts successfully is also presented.

2. Design and Prototype

First of all, a basic model of micro 5-axis CNC milling machine design was made using SolidWorks CAD programme. Fig. 1 shows the basic 3D drawing of the micro CNC machine and Table 1 shows the names of all the parts numbered in Fig.1.

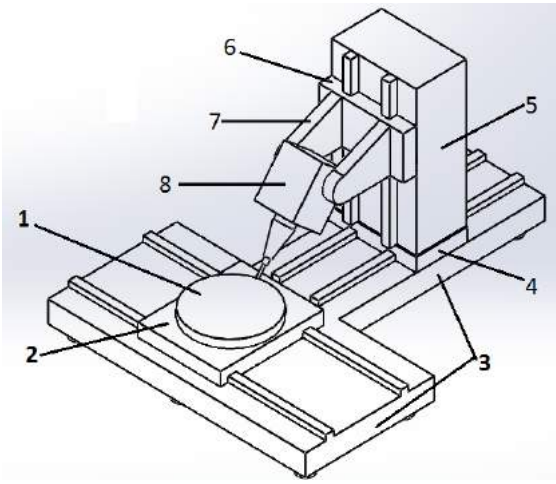


Fig.1 3D drawing of micro 5-Axis CNC machine

Table1 Names of machine´s parts

Number	Name
1	Rotary Table (C-Axis)
2	Craddle (A-Axis)
3	Trunnion
4	Table Saddle (A-Axis)
5	Swivel Head (Z-Axis)
6	Column (X-Axis)
7	Bed

The selected CNC machine for this study is comprised of three linear axes (X, Y, and Z), and one rotary and swivel axis (C and A respectively). Fig. 2 points out all the five axes of the micro CNC milling machine.

The frame of the machine was built up by 6 mm thick mild steel sheet and supported by using mild steel 50 x 50 hollow box section and 60 x 60 L shape profiles. The thickness of the L-profile was 6 mm (millimeters), where as the thickness of hollow box section was aboout 3 mm.Totally, 3 meters of L-profile and about 4 meters of hollow box section was used. The linear guide rails and the linear bearings were used for the movement of the table on all the linear axes. The screw rods made up of stainless steel were used to assist the motion on all three linear axes. Table 2 shows the main characteristics of the 5-axis CNC milling machine.

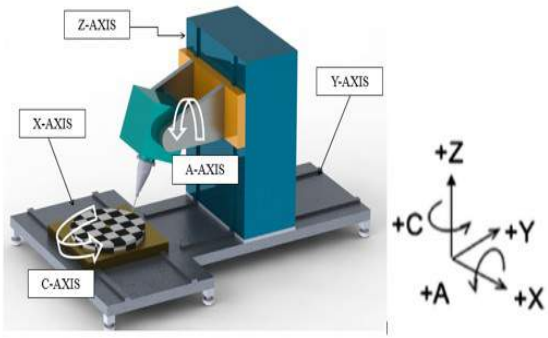


Fig. 2 3D CAD model showing all the fives axes

Table 2 General characteristics of the machine.

Travel on X axis	400 mm
Travel on Y axis	620 mm
Travel on Z axis	500 mm
C axis	160 mm (diameter)
A axis	150 mm
Rotaion on C axis	360 degrees
Rotaion on A axis	360 degrees
Weight	35 kg
Spindle Motor	0.75 KW, 50-18000 rev/min
Functions	2 and 3-dimensional small complex and eccentric parts manufacturing, surface machining, cutting, drilling, and milling.
Control Programme	Mach3
Supporting Files	NC code, DXF, WMF, HPGL, Plt, Cmx, jpeg, bitmap, etc.
Machinable Materials	Wood, Aluminum, Hard Plastics (Polyamide, Castamide, etc.), Plexiglass, and other Soft Materials.
Cooling System	No

The stepper motors were connected parallel to the screw rods with the help of timimg belts and timing pulleys. The diameter of the motor´s shaft was 8 mm, where as the diameter of the ball screw was reduced from 16 mm to 12 mm. The timing pulley which was smaller in size was mounted on the motor´s shaft while the larger pulley was inserted in the ball screw. with the and the twere attached. In order to operate the machine at high speeds, the ball bearings with their housings were attached at both ends of the ball screws. The main purpose of ball bearings is to reduce the rotational friction and support the radial and axial loads. The structure of the machine was supported by eights wivel feets. The Fig. 3 shows the 3D detail

model of the micro 5-axis CNC machine, and the Fig. 4 shows the different views of the machine.

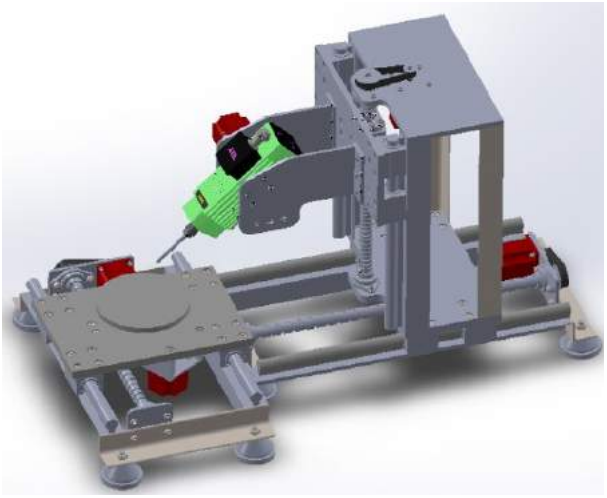


Fig. 3 Detailed 3D CAD Model of Micro CNC Milling Machine

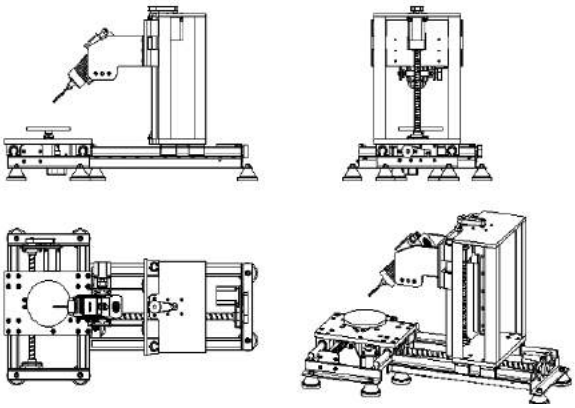


Fig. 4 Front, Top, Side, and Isometric view of the Machine

The spindle motor, carrying the cutting tool was mounted on the A axis of the machine. The spindle is able to swivel 360 degrees around the axis. The main purpose of the A axis is to machine complicated parts from the sides. The sideview of the machine is shown in Fig. 5, where the spindle motor is at the angle of 180 degress.

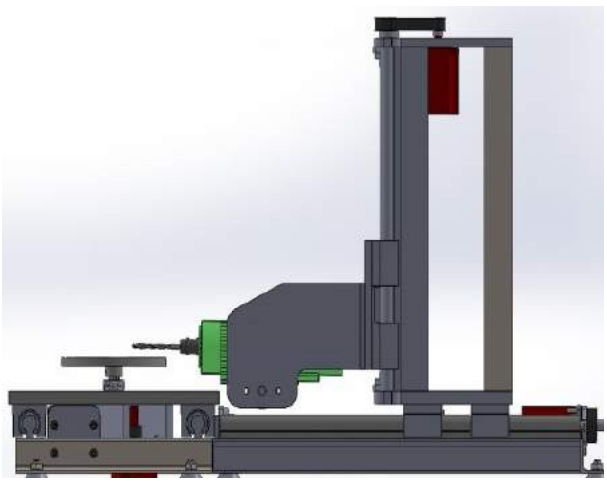


Fig. 5 Sideview of the Machine

Table 3 shows the list of names and quantity of all the necessary euipments for constructing the prototype of micro 5-axis CNC milling machine. The motion on both A and C axes was also delivered with the help of timing belt and timing pulleys. In the case of A and C axes, the linear shafts were used instead of the screw rods. The shafts were rigidly joined with rotary table and spindle motor to successfully and efficiently deliver the motoin. The ball bearing with its housing was used on both sides of the shaft and the thrust ball bearing was used on C axis to keep the rotary table on the axis.

Table 3 List of equipments´ names and quantity

Quantity	Equipment Name
1	1 Spindle Motor
1	2 Power Supply
5	3 Motor Driver
1	4 Thrust Ball Bearing
5	5 Stepper Motor 3Nm
1	6 5-Axis CNC Control Card
10	7 Bearing
10	9 Machine Feet
3	10.Ball Screw Nut
3	11. Nut Housing
2m	12.Ball Screw
3m	13 Linear Shaft
12	14 Ball Bearing & Bearing Holder
1	19 Spindle Motor Inverter
5	20 Timing Belts and Pulleys
1m	21 Linear Shaft
3m	22 L Profie
4m	23 Hollow Box Section
A.R.	24 Fasteners

3. Control Methodology

The stepper motors were used to deliver the motion with the help of timing belt drives on all the five axes. A CNC milling machine which uses stepper motors is easier to be built and accessible even for home made applications. The stepper motors have the great advantage of not needing a feedback from the process while providing high precision and repeatability [16]. The ball screws and screw nut was used on all three linear axes (X, Y, and Z). The electronic 5-axis ontrol card was taking the command from the computer and sending it to the stepper motors through step motor drivers. The signal which was coming from the computer, basically guiding the direction of motion of the desired stepper motor. The interface, five stepper motor drivers, power supply, and inverter were connected with the control card and developed a control unit. The flow chart and control unit connection mechanism are shown in figures 6 and 7.

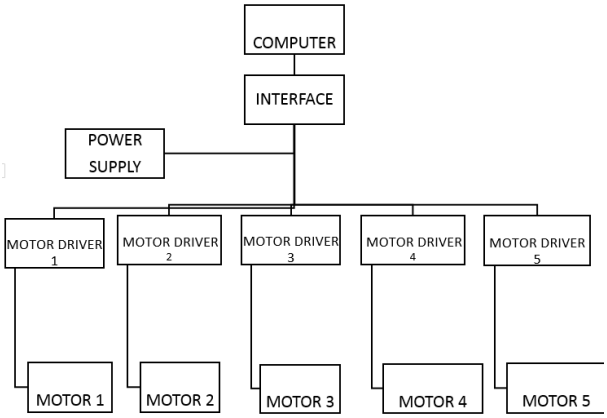


Fig. 6 Control Unit Flow Chart

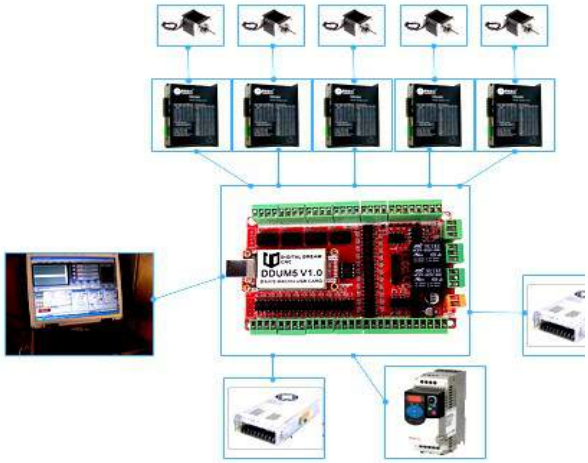


Fig. 7 Control Unit Connection Mechanism

3.1. Stepper Motor

Five stepper motors with same specifications were used. The specifications of the used stepper motors is given in Table 4.

Table 4 Stepper Motor Specifications

Step Angle	1.8°
NEMA	24
Ampere	3.0 A
Inductanse	3.0 mH
Resistance	0.9 ohms
Holding Torque	3 Nm
Phase Number	2
Weight	1.1 Kg
Length	80 mm
Number of wires	8

3.2. Driver Card

Five driver cards (one for each motor) were used. The task of the drive control circuit is to control the information between the computer and the driver circuit. By controlling the driver circuit according to the computer´s command, which runs the engine or steps of motor, direction of rotation is transmitted to the driver circuit. The communication is done via control program of the control circuit and the parallel port (LPT). Table 5 shows the characteristics of the motor drives used in this study.

Table 5 Motor Driver Characteristics

DC power input type	12V~36VDC , AC power input : 23V~24V
Output current	0.3A-2.0A
Mircostepping	1(1.8º)、1/2、1/4、1/8、1/16、1/32、1/64、1/128
Pulse/rev	200,400,800,1600,3200,6400,12800,25600
Dimensions	96mm×60mm×24.5mm
Weight	<200g.
Working environment	Temperature-15～80℃

3.3. Control Card (Interface)

The five axis control card was used to connect all the motor drivers. The job of the control card is to take the signal in the form of codes, from the computer and then send it to the motor driver.

3.4. Spindle Motor

In this study, Hertz brand (HMA42C) Spindle Motor was used. The spindle has a power of 0.75 KW and a speed range of 50 to 18.000 rpm (revolutions per minute). The speed of the spindle was controlled manually.

0.75 KW 4M AC inverter was used. Inverter means frequency converter. The Inverter is used to either increase or decrease the speed of the spindle motor.

3.6. CAD Programme

First of all, the desired shape of the workpiece is need to be modelled in any of the CAD programmes (i.e. SolidWorks, Pro Engineer, CATIA, etc). Fig. 8 shows the example of a gear modelled in Pro Engineer programme for this study.

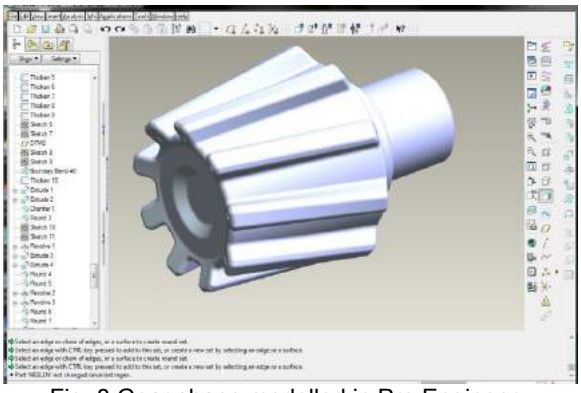


Fig. 8 Gear shape modelled in Pro Engineer

3.7. CAM Programme

To generate the G and M codes for manufacturing the desired part any of the CAM programmes (Mastercam, SolidCAM, Catia CAM, etc) can be used.were

generated automatically with the help of Master CAM programme. Fig. 9 and Fig. 10 show the codes generating process of the gear. In this study, Mastercam programme was used for the generation of G and M codes.

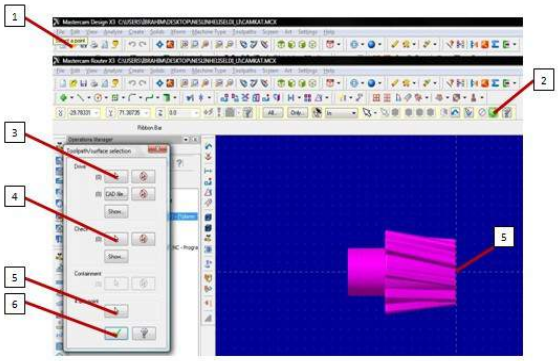


Fig. 9 Gear model in Mastercam Programme

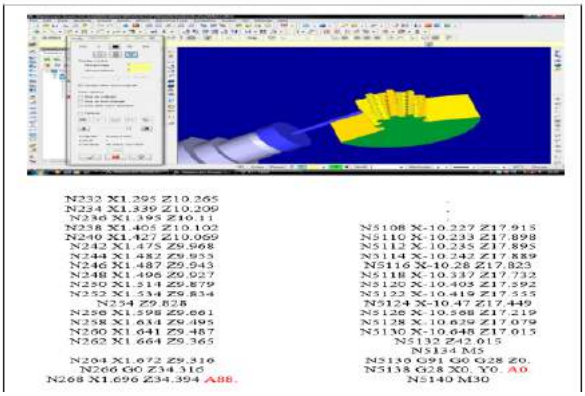


Fig. 10 Code generation process of the gear

3.8. Control Programme

To operate this CNC machine automatically, Mach3 control programme was used. The G and M codes which were obtained from MasterCAM programme were uploded in Mach3 programme, then with the help of this programme the signals were sent to the stepper motor through the control card and the stepper motor driver, and the workpiece was machined in to the required shape. Mach3 is an economical and easy to operate control programme with many advanced features. The Mach3 main window with the setting window of axes and ports is shown in Fig. 11.

Fig. 11 Mach3 with ports & pins settings window

4. Conclusions

This paper presented a guide to produce a cost-effective, portable, and easy to build and operate micro 5-axis CNC milling machine, to be used for small-scale industrial applications and educational purposes. This machine is affordable for the Universities´s laboratories and workshops, where 5-axis CNC machine is not availale, as it is much cheaper than commercial 5-axis CNC machines. This machine can also be very effective for learning and teaching purposes, and may replace large-scale 5-axis CNC machines in technical training institutes or other institutions.

It can be very helpful for small batch manufacturing, especially of complex shapes. This machine can also be very useful in facilitating the CNC education in Turkey as well as many other least developed countries across the globe. The performance of this machine will be better while manufacturing light weight materials (i.e. wood, aluminium, plastivaloire, etc), as the harder materials produce great vibration in the machine. This work gives product designers a hypothesis for further development and improvement.

Acknowledgments

This study is supported by Karabuk University of Turkey. The authors really appreciate the support and are very thankful to the University of Karabuk.

References

[1] Kobeloglu, A. and Cetinkaya, K., Design and the Prototype of a Desktop CNC Lathe to be Utilized for Educational Purposes. Global Journal on Technology, vol. 1, 2012.

[2] Newman, S., et al., Strategic Advantages of Interoperability for Global Manufacturing Using CNC Technology. Robotic and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 24, no. 6, pp. 699-708, 2008.

[3] Swamidass, P.M. and Winch, G.W., Exploratory study of the adoption of manufacturing technology innovations in the USA and the UK. International Journal of Production Research, vol. 40, no.12, pp. 2677-2703, 2002.

[4] Al-Kindi, G. and Zughaer, H., An Approach to Improved CNC Machining Using Vision-Based System. Materials and Manufacturing Processes, vol. 27, no. 7, pp, 765-774, 2012.

[5] Yea, X., et al., Reverse innovative design; an integrated product design methodology. Computer-Aided Design, vol. 40, no. 7, pp. 812-827, 2008.

[6] Xu, X. and Newman, S., Making CNC Machine Tools More Open Interoperable and a Review of the Technologies. Computer in Industry, vol. 57, no. 2, pp. 141-152, 2006.

[7] Gordon, S. and Hillery, M., Development of a high-speed cnc cutting machine using linear motors. Journal of Metarials processing Technology, vol. 166, no. 3, pp. 321-332, 2005.

[8] Kim, J.D. and Kim, M.H., A study on the design of cnc Lathe for education and application.

International Journal of Production Economics, vol. 25, no. 1-3, pp.169-180, 1991.
[9] Tseng, A., Kolluri, S.P. and Radhakrishnan, P., A CNC Machining System for Education. Journal of Manufacturing Systems, vol. 8, no. 3, pp. 207-214, 1989.
[10] Xu, X.W., et al., STEP-Compliant NC research: the search for intelligent CAD/CAPP/CAM/CNC integration. Int. J. Prod. Res., vol. 43, no. 17, pp. 3703-3743, 2005.
[11] Nassehi, A., et al., Toward interoperable CNC manufacturing. International Journal of Computer Integrated Manufacturing, vol. 21, no. 2, pp. 222-230, 2008.
[12] Bohez, E.L.J., Five-axis milling machine tool kinematic chain design and analysis, International Journal of Machine Tools & Manufacture. vol. 42, no. 1, pp. 505–520, 2002.
[13] Pandian, S. and Pandian, S. R., A Low-Cost Buıld-Your-Own Three Axis CNC Mill Prototype. International Journal on Mechanical Engineering and Robotics, vol. 2, no. 1, pp. 2321-5747, 2014.
[14] [14] Jywe, W., Hsu, T.-H. and Liu, C.-H., Non-bar, an optical calibration system for five-axis CNC machine tools. International Journal of Machine Tools & Manufacture, vol. 59, pp. 16-23, 2010.
[15] Sherring da Rocha Jr.P.A., Souza, R.D.S. and Tostes, M.E.L., Prototype CNC Machine Design. 9th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications (INDUSCON), 8-10 November, Sao Paulo, Brazil, pp. 1-5, 2010.
[16] Nae, I. and Andrei, T., Designing and Building a CNC Router Using Stepper Motors. Petroleum - Gas University of Ploiesti Bulletin, Technical Series, vol. 62, no. 1, pp. 55-62, 2010.

HAREKETLİ MAKİNE ELEMANARININ FARKLI FREKANSLARDA TİTREŞİMİN İNCELENMESİ VE SONLU ELEMANLAR İLE ANALİZİ

DIFFERENT FREQUENCIES OF VIBRATION OF THE MOVING MACHINE ELEMENT ANALYSIS AND FINITE ELEMENT ANALYSIS

Aysu AKILLI[a] ve Oğuzhan BİLDİK[b]
[a] Amasya Üniversitesi, Amasya, Türkiye, E-posta:aysu.akilli@amasya.edu.tr
[b] Karayolları 15. Bölge Müdürlüğü, Karabük, Türkiye, E-posta: oguzhanbildik@gmail.com

Özet

Bu çalışmada devinme halindeki makine elemanlarında titreşim incelenmiştir. Titreşim içinde bulundukları sistemin randımanını ciddi surette etkilemekte makine parçalarının daha çabuk yıpranmasına neden olmaktadır. Titreşimin makine parçaları üzerinde meydana getirdiği yıpranma ve ölçü bozukluğu sanayi sektöründe zaman kaybı ve ekonomik sebeplerden dolayı istenilmeyen bir sonuçtur. Titreşimden kaynaklanan ölçü bozukluğunun ve makine parçalarının yıpranmasının en aza indirilmesi hususunda sonlu elemanlar yöntemi ile kayış kasnak sistemi ve kaplin makine elemanlarının analizi yapılarak çıkan sonuçlar doğrultusunda titreşimin oluşma nedenleri ve verdiği hasarlar belirlenmiştir. Bu sonuçlar neticesinde frekansı artan kasnağın 150 Hz lik frekansa kadar olan analiz sonuçlarında titreşimde artış gözlemlenmişken, 200 Hz ve daha sonrasındaki frekanslarda ise titreşimin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Titreşim, Kasnak, Kaplin, Sonlu Elemanlar

Abstract

In this study, vibrations of machines and machines elements were examined. Vibration system in which they are affected by serious causes wear of machine parts more quickly. Vibration has caused wear on machine parts and measuring impairment loss of time in the industrial sector and for economic reasons is an undesirable result. Measurement disorder caused by vibration and wear of machine parts was performed a belt and pulley system with the finite element method. Result, the cause of occurrence of vibrations and the damage is determined. These results match the increasing frequency up to a frequency of 150 Hz pulley vibration increases were observed in the results of the analysis. 200 and later frequencies was determined reduced of the vibration.

Keywords: Vibration, Pulley, Coupling, Finite Elements

1. Giriş

Titreşim, makinelerin mekanik aksamının iç ve dış kuvvetlere karşı gösterdiği tepki olarak adlandırılır. Titreşimin makinelerde ortaya çıkması makinelerin iç aksamında eksen kaçıklıkları ve malzeme deformasyonu sıklıkla görünen arızalardandır.

Beklenmeyen makine duruşlarını önlemek ve makinelerin servis ömrünü arttırmak için kestirimci bakım faaliyetleri içinde uygulanan en etkili yöntem, düzenli olarak titreşim ölçümünün yapılmasıdır [1]. Fakat bu yöntem malzemenin arıza sonucunda yapıldığı muayene olduğundan dolayı kötü sonuçların, zaman kaybının, gereksiz bakım işlerinin ve maliyet beklenenin üzerinde olmasından dolayı bilgisayar destekli analiz ile makine elemanlarından olan kasnak sisteminin analiz sonuçları çıkarılmaktadır bu sayede makinenin işlemi öncesinde gerekli önlemler alınması sağlanır.

2. Titreşim Nedenleri

Makinalar için istenmeyen bir durum olan titreşim çeşitli sebeplerden dolayı oluşabilmekte ve giderilmediği takdirde makina parçalarının kırılarak sistemin devre dışı kalmasına sebebiyet vermektedir. Makinaların beklenmeyen duruşlarına neden olabilecek eksen kaçıklığı, balanssızlık, kasnak ve kaplin ayarsızlığı veya ayarın bozulması mekanik gevşeklik, yanlış yağlama, eğilmiş mil, elektrik motoru akım arızaları, rulman hasarı, dişli hasarı, kavitasyon, rezonans gibi arızalar ve birçoğu titreşime sebep olan etkenlerdendir [1].

Bu nedenlerden oluşan titreşim, günümüzde geliştirilmiş titreşim analiz makinalarıyla ölçülmekte, analiz edilmekte ve makina kırılma noktasına gelmeden tamir edilmektedir. Bu yönteme aynı zamanda kestirimci bakım da denilmektedir. Avantajları ise makina kırılmadan tamir edildiğinden bakım maliyeti düşüktür. Aynı zamanda plansız kırılma olmayacağından işletmenin devre dışı kalma riski çok daha azdır [2].

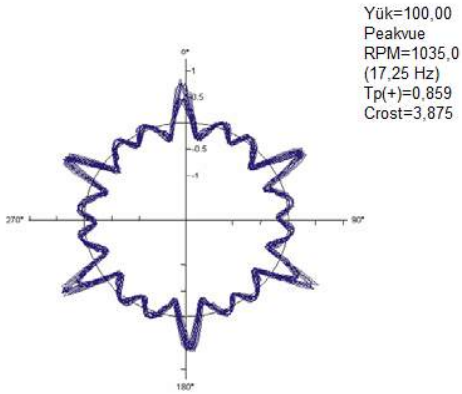
2.1. Kayış Arızaları

Şekil 1'de 6 kutuplu motorda kutup arızası motor dıştan alınan 2 kHz HP filtreli peakvue vibrasyon ölçümü dairesel dalga formu, 6 kutuplu elektrik motorunda elektriksel arıza olduğunu göstermektedir. Şekil 2'de ise AC motor içinde düzgün çalışmayan elektrik motoru görülmektedir. Motor içinde bir bölgede rotor ile stator arasında dokunma gerçekleştiği görülmektedir[3]. Motorun bu şekilde arıza göstermesi makine elemanlarının da titreşime maruz kalarak hasar göreceği belirlenmiştir.

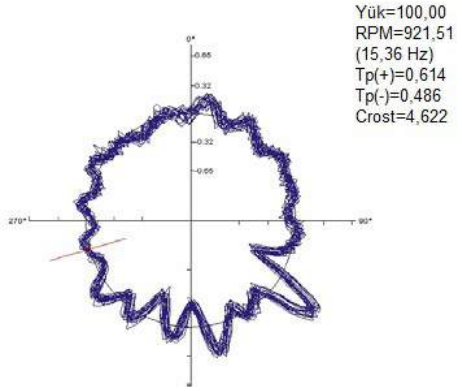
Kasnak mekanizmasında kullanılan hasarlı rulman kısa süreli darbeler üretmektedir ve darbeler ölçümler ile belirlenmektedir[5]. Rulman aşınması durumunda hasarlar ilk önce dış bilezikte kabarma şeklinde kendini gösterir. Kabarma derinleştikçe oluşan titreşimlerin genliği artar.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Arızanın son aşamasında yuvarlanma elemanları, kabarmayı iç bileziğe taşırlar ve iç bilezik geçiş frekansındaki titreşimler artar[6]. Buna ek olarak, makinelerde, makinenin çevre şartları, devir, tahrik tipi, yataklama biçimi, makine yükü ve özellikleri dikkate alınması gerekir[7].



Şekil 1. 6 kutuplu makinadan alınan dairesel dalga formu [3]



Şekil 2. AC Motordan dairesel dalga formu [3]

3. Kasnağın modellenmesi ve Analizi

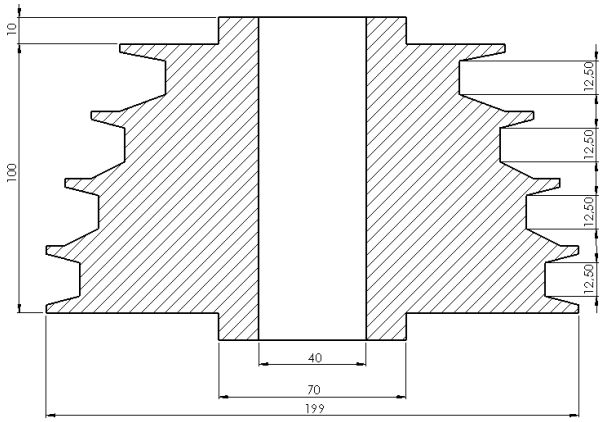
3.1. Kasnağın Modellenmesi

Kasnağın modellenmesinde ihtiyacımız olan ölçüleri matkap tezgahının standart ölçülerine bakarak tasarımı yapılmıştır. Matkap tezgahının tasarlanan kayış kasnak mekanizması bilgisayar destekli olarak modellenmiştir. Şekil 3'de tasarlanan kasnağın teknik resim ön görünüşü verilmektedir. Şekil 4'de ise kasnağın tasarlanan model görünüşünün teknik resim kurallarına göre ön, yan, üst ve perspektif olarak görünüşleri çıkarılmıştır.

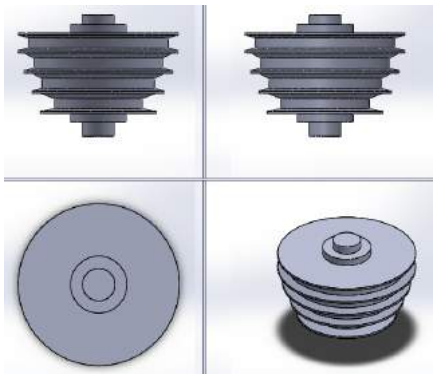
3.2. Kasnağın Analizi

Bilgisayar destekli olarak modellenen kasnak ANSYS 14.0 WorkBench versiyonunda model analizi yapılarak malzemenin doğal frekansı alınmıştır. Harmonic Responce'e geçiş yapılarak 0 Hz ≈ 500 Hz arasındaki frekanslarda maruz kaldığı Total Deformation incelenmiştir. Şekil 5'de frekans değerleri verilen analizin kasnağın hangi frekanslarda nasıl değişim gösterdiği aşağıdaki Şekil 6 ve Şekil 15 arasındaki grafiklerde gösterilmektedir.

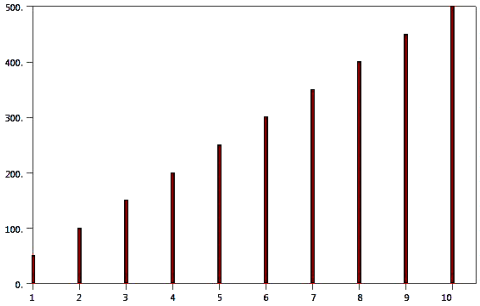
Kayış-Kasnak mekanizmasının 50 – 500 Hz frekans değerlerine göre minimum ve maksimum titreşim değerleri Çizelge 1'de verilmektedir.



Şekil 3. Kasnağın teknik resim ön kesit görünüşü

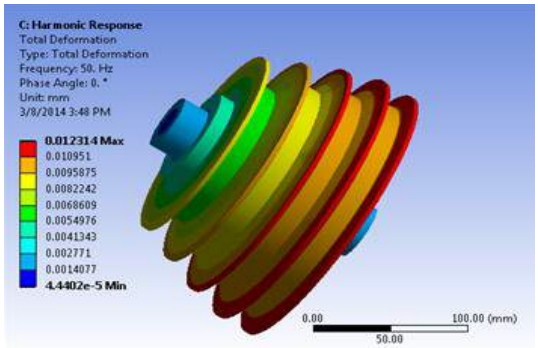


Şekil 4. Kasnağın model çizimi görünüşleri

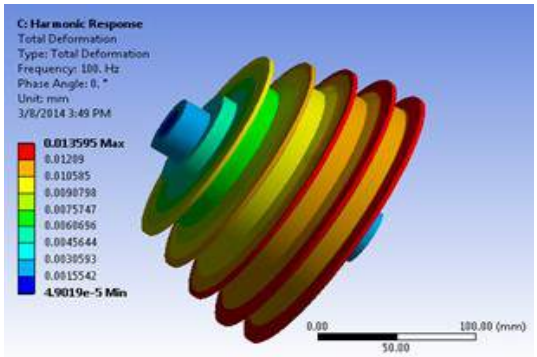


Analiz Sayısı	Frekans(Hz)
1.	50
2.	100
3.	150
4.	200
5.	250
6.	300
7.	350
8.	400
9.	450
10.	500

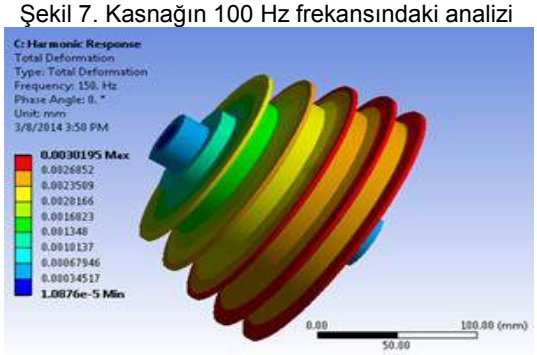
Şekil 5. Analizin frekans değerleri



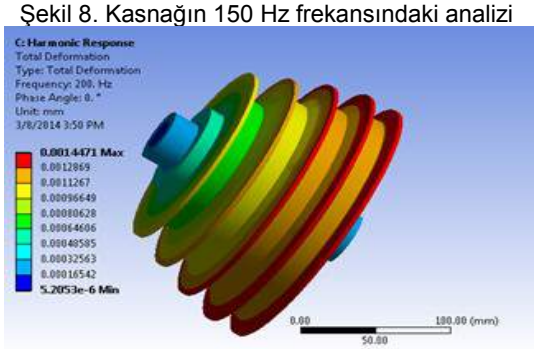
Şekil 6. Kasnağın 50 Hz frekansındaki analizi



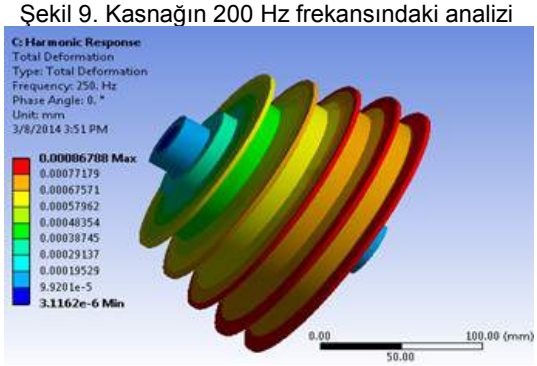
Şekil 7. Kasnağın 100 Hz frekansındaki analizi



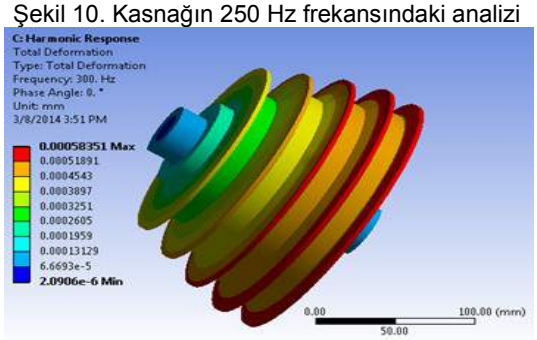
Şekil 8. Kasnağın 150 Hz frekansındaki analizi



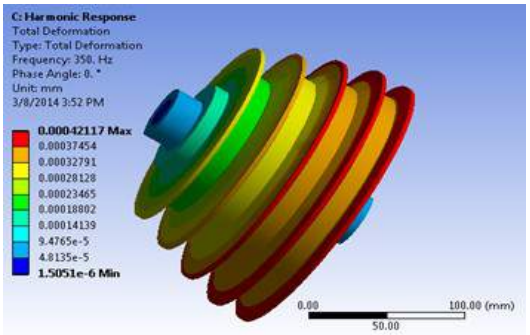
Şekil 9. Kasnağın 200 Hz frekansındaki analizi



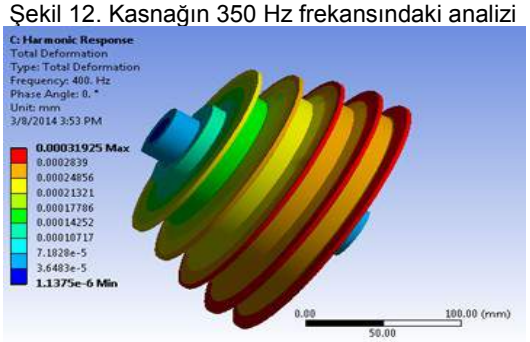
Şekil 10. Kasnağın 250 Hz frekansındaki analizi



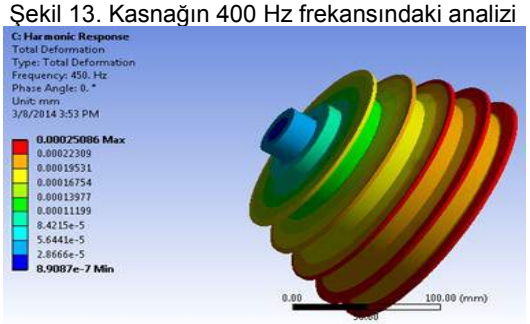
Şekil 11. Kasnağın 300 Hz frekansındaki analizi



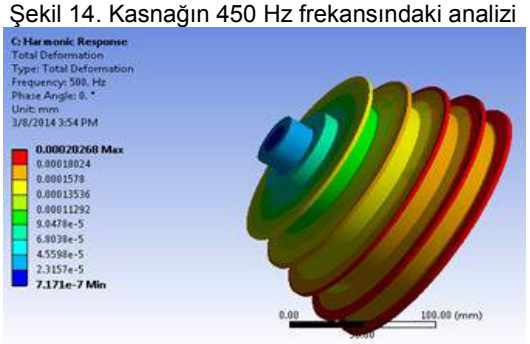
Şekil 12. Kasnağın 350 Hz frekansındaki analizi



Şekil 13. Kasnağın 400 Hz frekansındaki analizi



Şekil 14. Kasnağın 450 Hz frekansındaki analizi



Şekil 15. Kasnağın 500 Hz frekansındaki analizi

Çizelge 1. Kayış- Kasnak mekanizmasının frekans değerlerine göre minimum ve maksimum titreşim değerleri

Frekans Değeri	Minimum Titreşim Değeri	Maksimum Titreşim Değeri
50 Hz	4,44E-05	0.012314
100 Hz	4,90E-05	0.013595
150 Hz	1,09E-05	0.0030195
200 Hz	5,21E-06	0.0014471
250 Hz	3,12E-06	0.00086788
300 Hz	2,09E-06	0.00058351
350 Hz	1,51E-06	0.00042117
400 Hz	1,14E-06	0.00031925
450 Hz	8,91E-07	0.00025086
500 Hz	7,17E-07	0.00020268

Sonuç değerlerine göre minimum titreşim değeri en az 500 Hz frekans değerinde, en yüksek değer ise 100 Hz frekans değerinde görülmektedir. Maksimum titreşim değeri en az 500 Hz frekans değerinde, en yüksek değer ise 100 Hz frekans değerinde olduğu belirlenmiştir. Bu değerlendirmeye göre en fazla titreşim değeri olan 100 Hz frekans veri aralığında olan kayış-kasnak daha fazla zarar görebilir.

4. Kaplinin modellenmesi ve Analizi

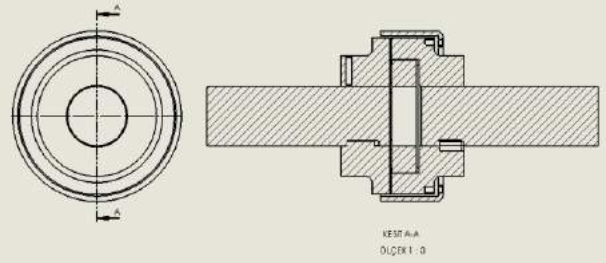
4.1. Kaplinin Modellenmesi

Kaplinin modellenmesinde ihtiyacımız olan ölçüleri standart ölçülere bakarak tasarımı yapılmıştır. Bu tasarlanan kaplin mekanizması bilgisayar destekli olarak modellenmiştir. Şekil 16'da tasarlanan kasnağın teknik resim ön görünüşü ve kesit alınmış görünüşü verilmektedir. Şekil 17'de ise kaplinin tasarlanan model görünüşünün teknik resim kurallarına göre ön ve yan görünüşleri çıkarılmıştır.

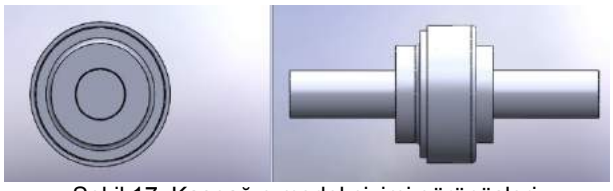
4.2. Kaplinin Analizi

Bilgisayar destekli olarak modellenen kaplin ANSYS 14.0 WorkBench versiyonunda model analizi yapılarak malzemenin doğal frekansı alınmıştır. Harmonic Responce'e geçiş yapılarak 0 Hz ≈ 500 Hz arasındaki frekanslarda maruz kaldığı Total Deformation incelenmiştir. Şekil 5'de frekans değerlerinin verileri bulunmaktadır.

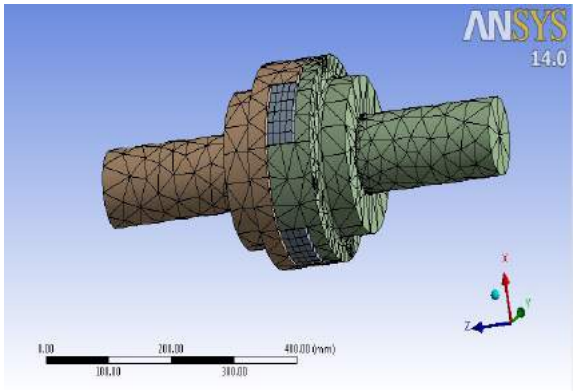
Şekil 18'de Kaplinin ağ örülmüş görüntüsü verilmektedir. Malzemeye örülen bu ağ analiz yapılırken hangi bölgeler arasında yoğunlaşacağı hakkında bize bilgi vermektedir.



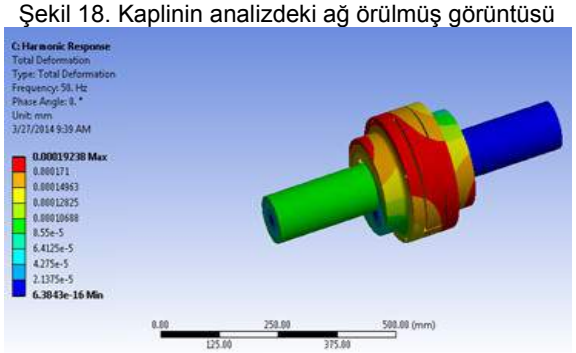
Şekil 16. Kaplinin teknik resim ön kesit görünüşü



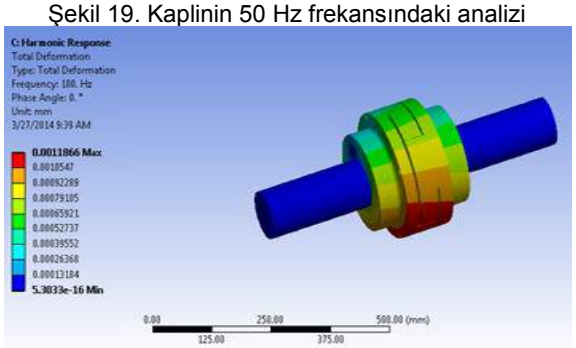
Şekil 17. Kasnağın model çizimi görünüşleri



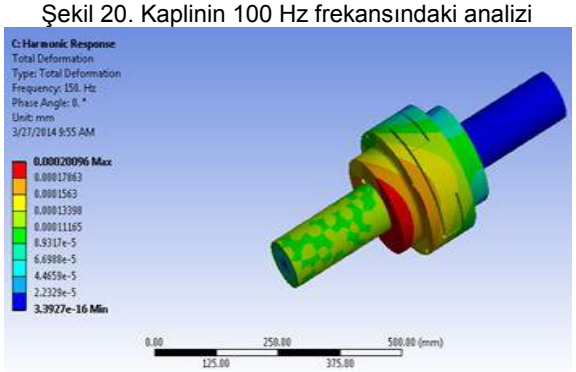
Şekil 18. Kaplinin analizdeki ağ örülmüş görüntüsü



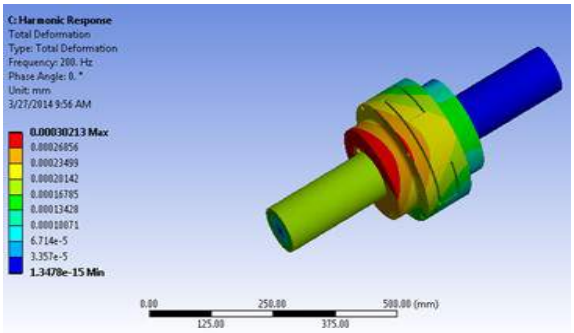
Şekil 19. Kaplinin 50 Hz frekansındaki analizi



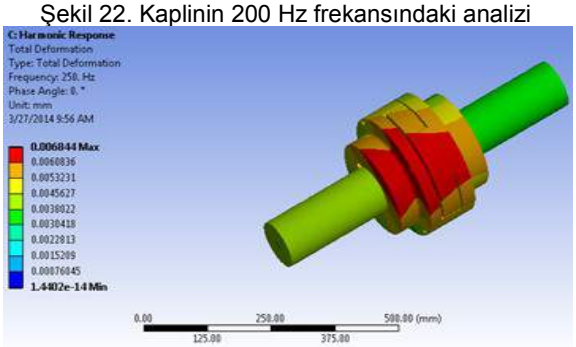
Şekil 20. Kaplinin 100 Hz frekansındaki analizi



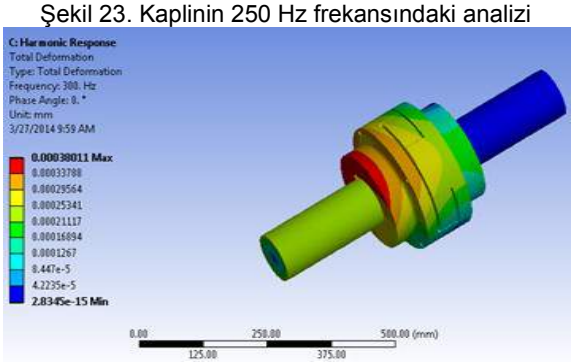
Şekil 21. Kaplinin 150 Hz frekansındaki analizi



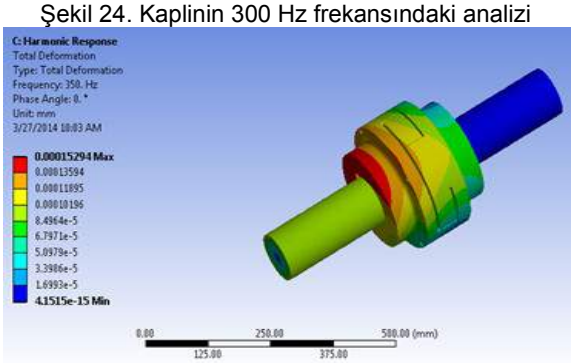
Şekil 22. Kaplinin 200 Hz frekansındaki analizi



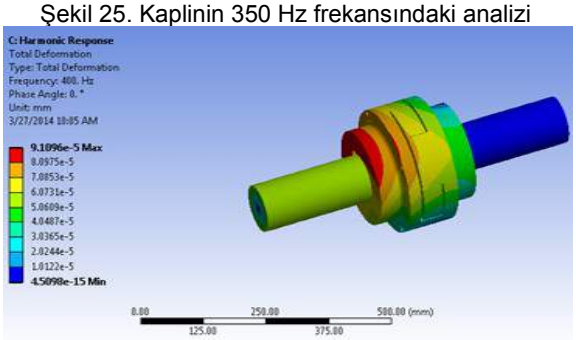
Şekil 23. Kaplinin 250 Hz frekansındaki analizi



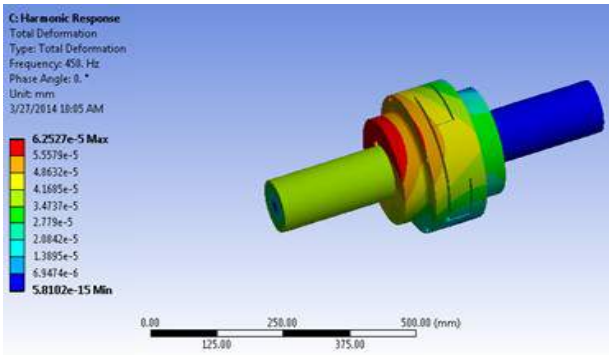
Şekil 24. Kaplinin 300 Hz frekansındaki analizi



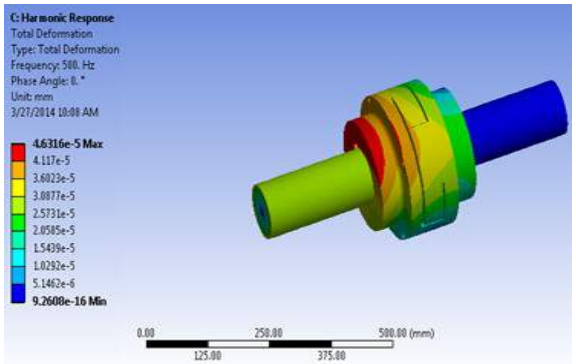
Şekil 25. Kaplinin 350 Hz frekansındaki analizi



Şekil 26. Kaplinin 400 Hz frekansındaki analizi



Şekil 27. Kaplinin 450 Hz frekansındaki analizi



Şekil 28. Kaplinin 500 Hz frekansındaki analizi

Çizelge 2'de kaplin mekanizmasının frekans değerlerine göre 50 – 500 Hz frekans değerleri arasındaki minimum ve maksimum titreşim değerleri verilmektedir.

Çizelge 2. Kaplin mekanizmasının frekans değerlerine göre minimum ve maksimum titreşim değerleri

Frekans Değeri	Minimum Titreşim Değeri	Maksimum Titreşim Değeri
50 Hz	6,38E-12	0.00019238
100 Hz	5,30E-12	0.0011866
150 Hz	3,39E-12	0.00020096
200 Hz	1,35E-15	0.00030213
250 Hz	4,40E-15	0.006844
300 Hz	2,83E-15	0.00038011
350 Hz	1,52E-16	0.00015294
400 Hz	4,51E-15	0.000091096
450 Hz	5,81E-15	0.000062527
500 Hz	9,26E-14	0.000046316

Çizelge 2'de sonuç değerlerine göre minimum titreşim değeri en az 350 Hz frekans değerinde, en yüksek değer ise 50 Hz frekans değerinde görülmektedir. Maksimum titreşim değeri en az 500 Hz frekans değerinde, en yüksek değer ise 250 Hz frekans değerinde olduğu belirlenmiştir.

Bu sonuçlara göre makine elemanlarının hasar görebileceği değer aralığı 250 Hz frekans değerinde olan titreşimin daha fazla olması nedeni ile hasarın fazla olacağı görülmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

İş milinde meydana gelen titreşim malzeme talaş kaldırmasındaki hassasiyeti önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle makine çalıştırılırken malzemenin istenilen ölçü sınırları içerisinde işlenebilmesi için iş milindeki ve kasnaktaki ve kaplindeki titreşimlerin belirli sınırlar içerisinde tutulması gerekmektedir.

Analiz sonucu çıkan sonuçlara göre malzemenin frekans değerlerine göre çeşitli frekanslarda farklı titreşim değerleri olduğu belirlenmiştir. Kayış-kasnak ve kaplin makine elemanları mekanizmasında değer farklılığın nedenlerinden biri olan frekansın 50 Hz ile 500 Hz veri aralığındaki değerler frekans değeri arttıkça titreşimin azaldığı yani ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Titreşimin nedenlerinden biri ise malzeme olabilir. Malzeme ne kadar esnek seçilirse o kadar titreşimin arttığı gözlenebilir. Yapılacak olan çalışmalarda çapları ve malzemesi değiştirilerek farklı frekanslarda kasnak titreşimleri incelenebilir.

Kaynaklar

[1] Kaya, Y., ve Kıral, Z., Hareketli yük etkisindeki sistemlerde titreşim analizi ve kontrolü. Dokuz eylül üniversitesi mühendislik fakültesi makine mühendisliği bitirme tezi, İzmir, 2007.
[2] Oday,I. A. and Schlattmann, J., Institute of laser and system technologies advances in mechanical engineering and its applications (AMEA). Technical University Hamburg, Germany, 86 vol. 1, no.4, 2012.
[3] Direl, K., Makinalarda vibrasyon problemi ve analizi. teknecik elektrik santralı (KIB-TEK), pp. 16-17.
[4] Köse, R.K., Makina Arızalarının Belirlenmesinde Titreşim Analizi, Mühendis ve makina,cilt.45, sayı.538, pp. 24-32.
[5] Yalçıntaş, M., Fault diagnosis of gears by computer simulation. Master thesis, Middle east technical university (METU), August 1990.
[6] Wowk, V., Machinery vibration: Measurement and Analysis. McGraw-Hill, Inc., 1991.
[7] Kalyoncu, M., Titreşim analizi ile makine elemanları arızaların belirlenmesi. Mühendis ve Makina, cilt.47, sayı 552.

THE EFFECT OF PITCH VARIATION ON MECHANICAL PROPERTIES IN THE DESIGN OF TOOTH IMPLANT

Elife Burcu GÜVEN [a] and Onur GÜVEN [b]
[a] Mersin University Department of Mechanical Engineering, Mersin, Turkey, E-mail: elifeguven@cumitas.com
[b] Mersin University Department of Mechanical Engineering, Mersin, Turkey, E-mail: oguvenonur@gmail.com

Abstract

This study provides a review of the achievements and advancements in dental technology brought about by computer-aided design and the all powerful finite element method of analysis. The scope of the review covers dental implants, jawbone surrounding the implant and the biomechanical implant and jawbone interaction [1]. The dental implant is desined by SolidWorks and analysed by ANSYS. The main objective of the study was to investigate into the stress and strain variations due to the effect of bone remodelling and healing.In this study, the stresses acting on an abutment and implant types which have three different pitch distance type were inspected. Three types of dental implants, an abutment and a representative cortical bone, cancellous bone and crown were designed. Titanium-Aluminum-Vanadium alloy was chosen for implant and abutment, alumina was chosen for crown, SolidWorks was preferred as program for design and ANSYS for analysis. Deformations, displacement vectors, von Mises stresses, principal stresses on the implant and the abutment were inspected. At the end of the study , the results of the analyses showed that changing the pitch distance affects the analysis results. In this study, our aim was to make an appropriate choice from three different types of implants. An ideal choice should have minimum stresses. According to the results of the analyses, the implant 0,75 mm pitch V-type threaded implant should be chosen.

Keywords: Dental implant; Implant-jawbone interaction; Design

1. Introduction

Dentistry aims at replacing missing teeth since it was first recognized as a profession. For centuries, dental practitioners have relied on their own skills and various artifacts to develop esthetic and functional alternatives to minimize sequelae that occur as a result of edentulism. Partial, complete, fixed, or removable dentures are by far the most commonly used forms of tooth replacement applied. In other words, these devices have been incorporated into the oral cavity anchored on either remaining teeth and/or other anatomical structures. Only scarce archeological reports have demonstrated attempts of incorporating prosthetic devices into the jaws as more natural and functional replacements. However, predictability of these methods was not achieved until recently.

The titanium had apparently bonded irreversibly to living bone tissue, an observation which contradicted contemporary scientific theory. Metal implants in contact with living bone were thought to be embedded in soft tissue, a term known as fibro-osseous integration. This form of metal-to-bone integration was never capable of achieving strong anchorage to bone.

Osseointegration has been described as a direct structural and functional connection between living bone and the surface of a load-bearing implant. This concept was later modified with more advanced imaging techniques. Scanning electromicroscopy revealed that a thin proteogly layer exists between titanium and bone [2].

2. Modelling of Implant

Modelling of the implant involves accurate representation of the implant geometry, taperage , material properties, loading conditions and implant surface structure. Following this , a redesign of the implant geometry can be performed to achieve an optimum stress profile in the surrounding jawbone. Creating an accurate analytical model of a dental implant, using appropriate engineering software, is essential in producing realistic and reliable solutions [1, 9].

2.1. Implant Geometry

Implant design usually refers to the design of the intraosseous “root form” component (the endosseous dental implant). However , the design of the implant-abutment junction and the abutments are extremely important in the prosthodontic management and maintenance and will be dealt with under a separate section. The implant design has a great influence on initial stability and subsequent function in bone. Following are the main design parameters:

2.1.1 Implant Length

Implants are generally available in lengths from about 6 mm to as much as 20 mm. The most common lengths employed are between 8 and 15 mm , which correspond quite closely to normal root lengths. There has been a tendency to use longer implants in systems such as Branemark, compared to , for example , Straumann. The Branemark protocol advocated maximizing implant length where possible to engage bone cortices apically as well as marginally to gain high initial stability.

2.1.2. Implant Diameter

Most implants are approximately 4 mm in diameter. A diameter of at least 3.3 mm is normally recommended to ensure adequate implant strength. Implants of 3 mm diameter are now available and normally recommended for low load situations such as mandibular incisor teeth. Narrow implants may have to be designed as one piece (i.e., incorporating the abutment) as they are too narrow to

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

allow connection via an abutment screw of adequate diameter. Wider diameter implants (5 mm and over) are available, which are considerably stronger, have a much higher surface area, and are often indicated for molar replacement. They may also engage lateral bone cortices to enhance initial stability. However, they may not be so widely used because sufficient bone width is not commonly encountered in most patients' jaws.

2.2. Implant Shape

Implants come in a very wide variety of shapes with many of the design features shared between systems and others limited to systems, especially where patents exist. The shape and screw design of the implant together with the recommended site preparation does have an effect on the surgical performance and stability of the implant that may guide operator preference. Most implants are parallel cylindrical or tapered cylindrical threaded designs. The tapered design will normally require more torque to insert as the wider part gradually engages the prepared site. The apical design may also be parallel or more commonly tapered to allow easier insertion , and may be smooth or have cutting faces to achieve self-tapping of the bone. The thread design and pitch vary considerably. A common thread pitch is 0.6 mm. The thread design may be more rounded or sharp and contribute to stability of the implant on insertion. The coronal end of the implant may be parallel sided or flared to provide a larger head or platform to connect to the abutment. The outer surface profile of the coronal end may have the same thread profile as the body of the implant, a finer microthread or a smooth profile. The surface characteristics may be the same as the body of the implant or smoother. The abutment connection to the implant may be within the implant (internal connection) or sit on top of the implant (external connection)

2.3. Material Properties of Implant

The biomechanical properties of an implant are very different to the original tissue. The design and manufacture of artificial materials that are aimed at being used within the human body, is becoming increasingly challenging. Titanium and bio-ceramic materials, such as hydroxyapatite are extensively used as fabrication materials for dental implant due to their high compatibility with hard tissue and living bone.Titanium has reasonable stiffness and strength while hydroxyapatite has low stiffness , low strength and high ability to reach full integration with living bone. A number of material properties have been adopted for titanium in previous analysis. The Young's modulus of titanium has been taken from 102.2GPa to 113.8 GPa, and the Poisson's ratio, between 0.29 and 0.35, based on different material testing [1, 8].

2.3.1. Material Selection

Dental implants are constructed from a range of materials such as titanium, stainless steel, titanium alloy and zirconium. Zirconium implants are one of the newest forms of implants and are promoted for their aesthetic qualities, biocompatibility and mechanical structure. As regards osseointegration, zirconium implants appear to offer the same success rates as titanium implants although there is no long data available to support this view. Some dental professionals view them as less stable and liable to fracture than the standard titanium implant.

Zirconium implants are pure white and have an obvious aesthetic advantage in that they are indistinguishable from natural teeth. Titanium and other types of implants are usually silver or black in color and can sometimes be viewed through the gum. However, the all white zirconium implant blends in well with the other teeth. The majority of implants are constructed from titanium is available in four grades, depending on the levels of iron and carbon within. Titanium alloy implants contain a mixture of aluminum and vanadium alloy and are promoted as being of greater strength and durability than the all titanium variety. The surface of an implant may be anodised, etched, sandblasted or plasma sprayed to aid with osseointegration. One of the main issues with implants is that of biocompatibility. They need to be able to integrate with human tissue and bone without any risk of an immunological response. Titanium is safe and readily accepted by the human body and is unlikely to cause an allergic reaction or toxicity [4, 7].

2.4. Loading Conditions

When applying FEA to dental implants, it is important to consider not only axial forces and horizontal forces (moment-causing loads), but also a combined load (oblique bite force), since these are more realistic bite directions and for a given force will cause the highest localized stress in cortical bone. İnvestigated the influence of axial and non-axial occlusal loads on the bone remodelling around implants in a dog mandible simulated with FEA. Strong correlation between the calculated stress distributions in the surrounding bone tissue and the remodelling phenomena in the comparative animal model was observed. They concluded that the highest bone remodelling events coincide with the regions of highest equivalent stress and that the major remodelling differences between axial and non-axial loading are largely determined by the horizontal stress component of the engendered stresses. The importance of avoiding or minimizing horizontal loads should be emphasized. In summary, both static and dynamic loading of implants have been modelled with FEA. In static load studies, it is necessary to include oblique bite forces to achieve more realistic modelling. Most studies concluded that excessive horizontal force should be avoided. The effects of dynamic loading requires further investigation [2, 7].

3. Parts of Dental Implants

3.1. Crown

An artificial replacement that restores the missing tooth structure by surrounding part or all of the remaining structure with a material such as cast metal, porcelain or a combination of materials such as metal and porcelain. It is the top most part of the restoration, which is visible to us in the mouth. These crowns help in aesthetics, in mastication, in balancing the occlusion and they are hand made by the dental technicians. These are usually made of metal or porcelain or a mixture of both [3, 8].

3.2. Abutment

It is a part of the implant which resembles a prepared tooth, and which is screwed to the body of the implant. It is the part which provides support to the artificial crown, and lies between the crown and the implant body. The abutment provides retention to the prosthesis [3].

3.3. Implant Body

This is the part of the implant which is placed during the first stage of the implant surgery, and which provides the anchor or foundation for the restoration. This part is fixed in the jaw bone, and on this the abutment is screwed in the next stage of the surgery. The implant body can be threaded or non-threaded. When the natural teeth are lost, the bone loss is common. But when the fixture is placed, the bone tissue tends to grow around it and thus the jaw bone is strengthened again. The commercially available implant bodies are made of either commercially pure titanium or the titanium alloys and depending on the need, they may or may not be coated with hydroxyapatite [3].

3.4. Healing Screw

This is a part of the implant which isn't permanently placed, but is used during the healing phase when the soft tissue over the implant body is being healed. The healing screw facilitates the suturing of the soft tissue, and it also prevents the growth of tissue over the edge of the implant [3].

3.5. Healing Caps

These are the dome shaped caps placed over the healing screws to project through the soft tissue into the oral cavity, and they range from 2-10 mm in length. They prevent the overgrowth of the tissues over the implant body, and even guide for the placement of the permanent restoration after the second stage of the surgery. The dental implant bodies are usually made of titanium alloys, as Titanium is one of those components which help in the process of osseointegration, where the jaw bone and the implant screw integrate with one another and the jaw bone tend to grow and fix around the bone.

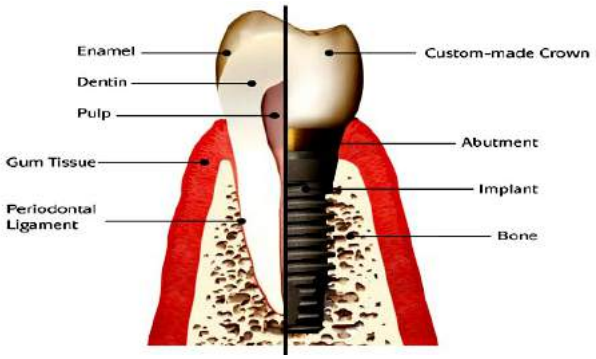


Fig. 1. Parts of the Implant

4. Design and Analysis

4.1.Implant Design

For desinging of parts Solidworks 2010 was prefered as design programme. Before the design different implant and abutment catologes were searched to get types , shapes and dimensions. All parts were chosen according to standarts. For abutment and implant Ti-6Al-4V was selected for the material.

The design was repeated for 0.4 , 0.5 and 0.75 mm pitch V-type threaded implant as it can be seen I only changed the pitch of the implant. Fig.2. and Fig.3. implant designs can be seen. The implant was chosen from Nucleoss catolog page 12 , type T3 implant diameter and height and code was T3 5010 [5].

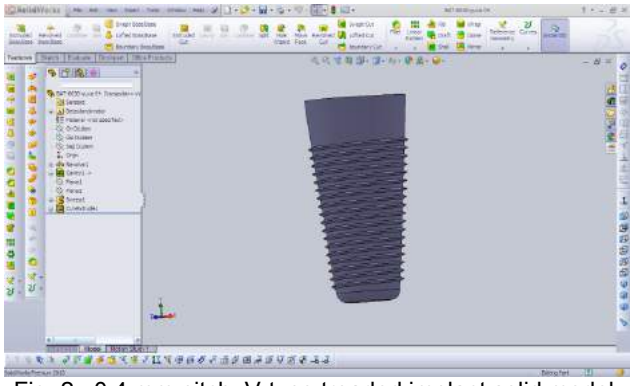


Fig. 2. 0.4 mm pitch V-type treaded implant solid model

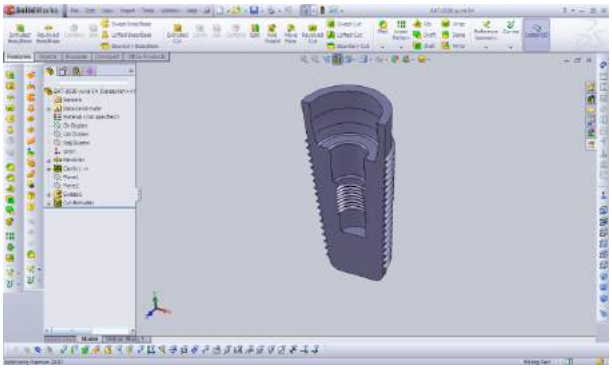


Fig.3. 0.4 mm pitch V-type threaded implant section view

4.2. Abutment Design

The abutment was chosen from Nova catolog , page 13 and the type was BAT0030 [6].

4.3.Crown Design

Crown was designed in the Solidworks and added 99.5% Alumino material.

4.4.Assembly

Assembly of abutment, implant and crown is shown below.

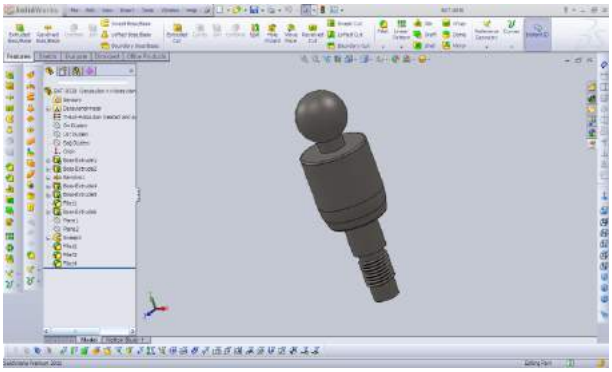


Fig. 4. Abutment solid model

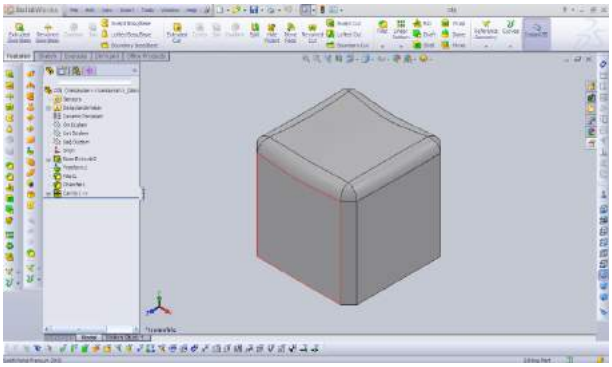


Fig. 5. Tooth

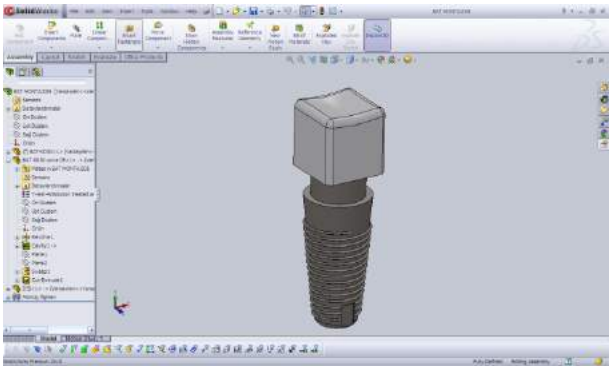


Fig. 6. Assembly

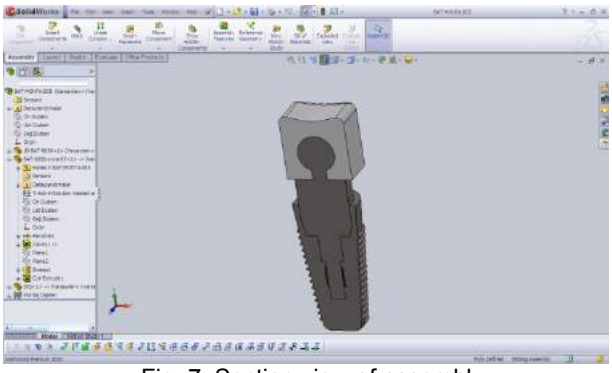


Fig. 7. Section view of assembly

The hole was drilled for each pitch distance in the mandibula and the assembly was designed for 0.4, 0.5, 0.75 mm pitch V-type threaded implant so, analysis was done for each of them.

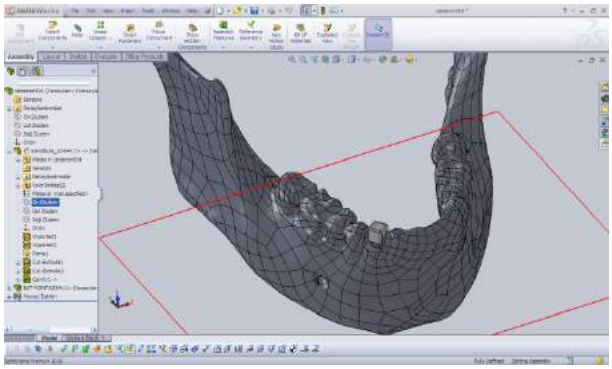


Fig. 8. Assembly of implant , abutment ,crown and mandibula

4.4.Analysis

The structure which is designed in three different parameters (0.4 , 0.5 ,0.75 mm pitch) that analysed in ANSYS-v12. As it can be seen in the Fig.9. the structure was meshed by automatically in the programme.

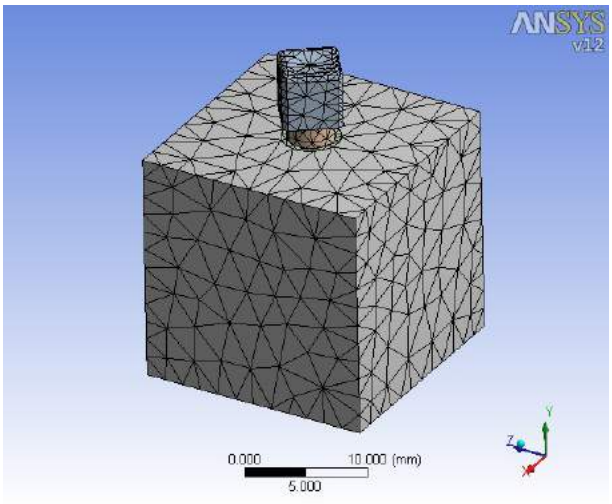


Fig. 9. Mesh of structure

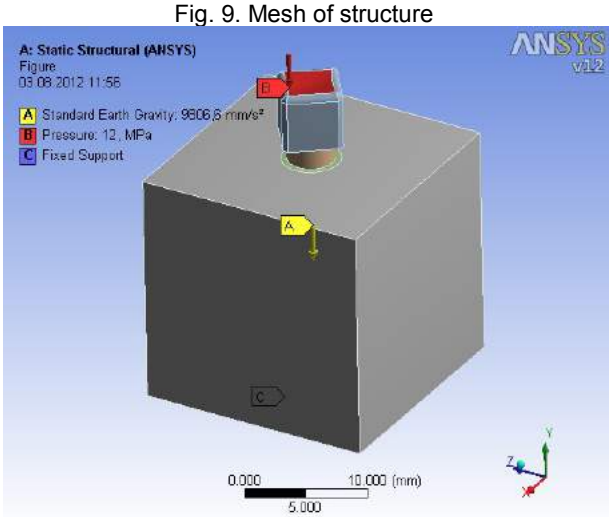


Fig. 10. Static Structural

In the structure it was applied standard earth gravity, 300 N force was effected on the tooth which had 25 mm^2 surface area that equal 12 MPa and bottom surface of the

mandibula was selected as fixed support. For the analysis results; 1) Total deformation 2) Equivalent (von-Misses) elastic strain 3) Equivalent von-Misses stress 4) Maximum principal elastic strain, are chosen. These are done for each of design.

5. Results

Just below 0.75mm pitch V-type treaded implants analysis of the results is given.

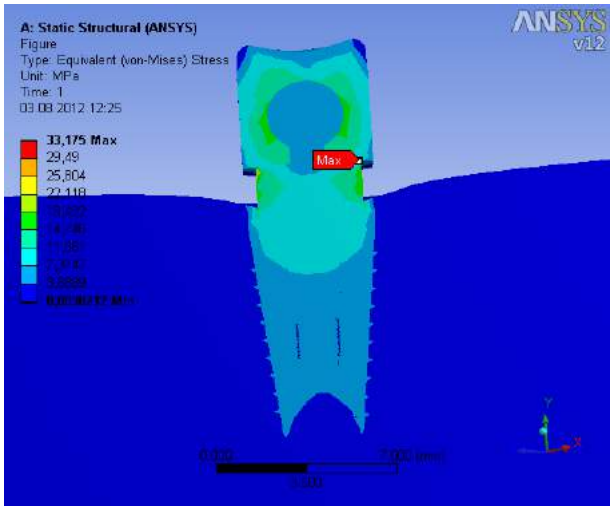


Fig. 11. Equivalent (Von-Misses) stress for 0.75 mm pitch

The contact surface between mandibula and implant teeth the stress is 3.6889 MPa value is measured. The stress is increase through the center of the implant. The maximum stress is seen between tooth and neck of the abutment which is 33.175 MPa.

The stress, on the contact surface between mandibula and implant teeth , is measured minimum for 0.4 mm pitch V-type threaded implant. Because of the number of teeth are 18 so, the contact surface is the highest. The contact surface between mandibula and implant teeth the stress is measured maximum for 0.5 mm pitch V-type threaded implant. It has 15 teeth because of this it has smaller cantact surface area than 0,4 mm pitch implant so it has higher stress. The contact surface between mandibula and implant teeth the stress is measured for 0.75 mm pitch V-type threaded , between 0.4 mm pitch and 0.5 mm pitch V-type threaded implant. It has 10 teeth which smaller than others. But compared to others, the slope of helix is increased so stress gets decrease. The maximum stresses are not seen on the contact surface between mandibula and implant teeth so, is the useful design for dentistry application. Because of the sponge structure of the bone, it is better way to use 0.75 mm pitch implant rather than 0.4 mm pitch, not to damage the cancelleous bone.

References

[1] Van Staden R. C., Guan H., Loo Y. C., Application of finite element method in dental implant research, School of Engineering, Griffith University Gold Coast Campus, Australia,2006

[2] Neiva R.F., Wang H. and Geng J. Application of the Finite Element Method in Implant Dentistry , Advanced Topics in Science and Technology in China, pp 42-60, 2008

[3] http://gvwizard52.blogspot.com.tr/2011/07/dental-implant-part2-components-and.html

[4] http://www.dentalimplant.co.uk/dental-implant-materials.html

[5] Nucleoss, Ürün katoloğu, Mayıs 2011

[6] Nova Implants, Ürün kataloğu, 2011

[7] Palmer R.M., Howe L.C., Palmer P.J., Implants in Clinical Dentistry, Second edition, 2011

[8] Majewski S, Loster BW, Macura AB, *et al*. Application of a diagnostic therapeutic procedure using implant-supported dental prosthesis as a preventive therapy for candidiasis of upper gastrointestinal tract in complete denture users. J Physiol Pharmacol 2008; 59: 39-46.

[9] Rahimi A., Bourauel C., Jager A., Gedrange T., Heinemann F., Load Transfer By Fine Threading The Implant Neck- A FEM Study, Journal of physiology and Pharmacology,pp 107-112, 2009.

LIMITED PRESSURE-VELOCITY JOURNAL BEARING TEST EQUIPMENT DESIGN FOR DETERMINING OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOURS OF POLYMERS

Mehmet Turan DEMİRCİ[a] and Hayrettin DÜZCÜKOĞLU[b]
[a] Selcuk University, Metallurgy and Material Department, Konya, Turkey, turandemirci@selcuk.edu.tr
[b] Selcuk University, Mechanical Engineering Department, Konya, Turkey, hayduzcukoglu@hotmail.com

Abstract

Many test apparatus and machine are used to determine and investigate the tribological behaviors of materials. Especially, pin on disk test equipment is widely used as tribological measurement device for materials. Polymer Journal bearings are used in many industrial applications that require high wear resistance, cost, weight, silent operation and easy manufacturability at non-lubricated dry conditions and low velocity. To determine tribological behaviors of polymer journal bearing the limited pressure-velocity test equipment for have been designed to investigate friction coefficient, temperature and indirectly wear rate. Designed LPV test equipment contains three temperature measurement stations by using surface thermocouples, friction coefficient measurement by using loadcell and software to obtain the measured data.

Keywords: Limited Pressure-Velocity, Test Equipment, Journal Bearing, Friction Coefficient and Temperature.

1. Introduction

In the past decades, thermoplastic polymer composites are commonly used as structural materials in application areas such as automotive, manufacturing, aerospace and chemical industries These applications in the many industry sectors are worked on tribological machine parts, such as gears, cams, bearings and seals, due to their many advantages of polymer composites as self lubrication [1]. The major advantages of these polymers are high wear resistance, cost, weight, silent operation and manufacturability at non-lubricated dry conditions in journal bearing materials [2]. These thermoplastic materials used in the industrial field are polyamide 66, polyamide 6, low density polyethylene, high density polyethylene, polypropylene, polybenzimidazole, polybenzimidazole, polystyrene, polyvinyl chloride, Teflon [3]. Metallic journal bearings are carried out for all applications for changing requirements. In addition, their manufacture process is longer than thermoplastics and the costs of them are higher than them. Therefore thermoplastic Journal bearings are important according to usage areas. These requirements of the usages of thermoplastic journal bearings are listed by items below.

- Low weight
- Low velocity
- Dry friction
- Protect to shaft than abrasive wear and damage shaft material
- Self lubrication
- Corrosive running ambient like moisture
- The running of under the seawater
- Easy running in the dust free environment
- Low load carrying applications
- Low cost
- Easy manufacture processes

To determine suitable thermoplastic materials to manufacture and carry out according to the usage conditions, using field and functions, the material properties and tribological properties should be investigated and known. In the specifying appropriate wear test method and wear test apparatus are so significant because of contact surface area. Limited Pressure Velocity (LPV) wear test apparatus is more suitable for determining of coefficient of friction and temperatures of thermoplastic journal bearing.

In this study, The LPV wear test apparatus was designed to run easy testing and measurement for polymer journal bearings to determine tribological behaviors. In addition for investigating the interactions between coefficient of friction and temperature, the ability of temperature measurement on contact surface of journal bearing was added.

2. Design of LPV Wear Test Apparatus

To determine the tribological characteristics of thermoplastic journal bearings for dry friction test conditions LPV wear test apparatus was designed and something modifications were made on LPV test apparatus. Designed schematic view of LPV is given in Fig.1 . The system was driven by DC electric motor (1) controlled by velocity control driver unit as given in Fig. 2 and Fig. 3. The rev of electric motor are controlled in the between 0-2200 rpm. Shaft of system and shaft of electric motor were mounted by clutch (2). Experimental apparatus were located on L shaped sledge (3) to ensure mobility of system. Aluminum bearing house (4) sized with respect to outer of diameter of journal bearing was produced by using lathe. After the production of aluminum bearing holder, three thermocouple holes were drilled. In order to provide easily rotation of aluminum bearing holder that mounted into the journal bearings, to get perpendicular direction of weight to load cell plane and get well friction force results, two ball bearing (5) were fitted on the aluminum bearing holder as medium fitting. And then steel cage (6) mounted on bearing as medium fitting. As perpendicular direction of loadcell plane, the weight hanger (7) screw in aluminum bearing holder. The screw rods (8) were screw in aluminum bearing holder on 0o and 180o plane to fix to thermoplastic journal bearings and provide contacting the loadcell and measured tangential force from loadcell. The loadcell (9) located on L steel part combine with steel part

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

that mounted on shaft bearing house. End of apparatus parts are thermocouples (10). J type Thermocouples fit into 6 mm holes that drilled into aluminum bearing holder. Wearing temperature is essential for wearing behaviors of polymers [5]. Since temperate of surface affects to the coefficient of friction due to accumulating of heat. The accumulate heat on contact surface make the wearing poor.

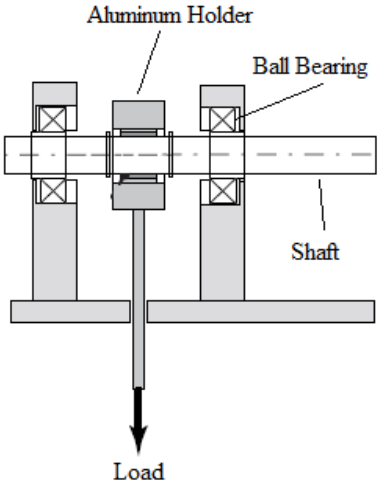


Fig. 1 Schematic view of LPV test apparatus [6].

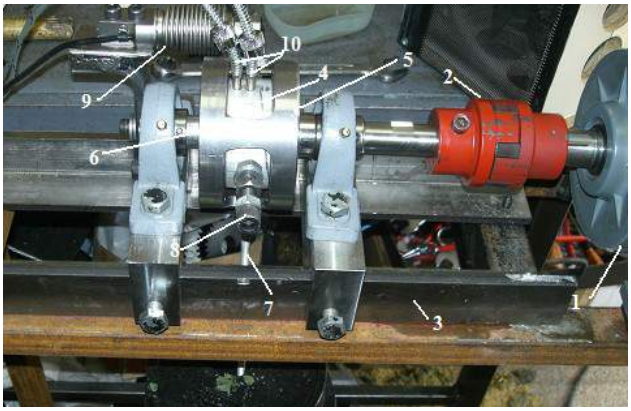


Fig. 2 The dry Journal bearing test apparatus [5] 1. Electric motor, 2. clutch, 3. sledge, 4. aluminum bearing house, 5. ball bearing, 6. steel cage, 7. weight hanger, 8. screw rod to hold and loadcell measuring the polymer journal bearing, 9. loadcell, 10. thermocouples.

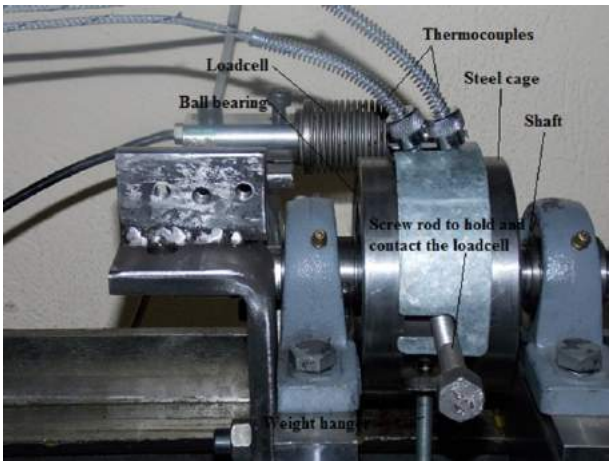


Fig 3. LPV wear test apparatus [4]

The significant details of LPV apparatus of the montage of journal bearing are show in Fig 4.

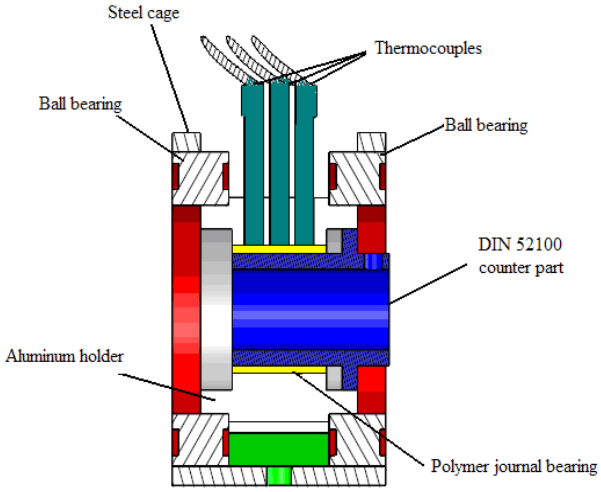


Fig. 4. The details of the montage of polymer journal bearing [4].

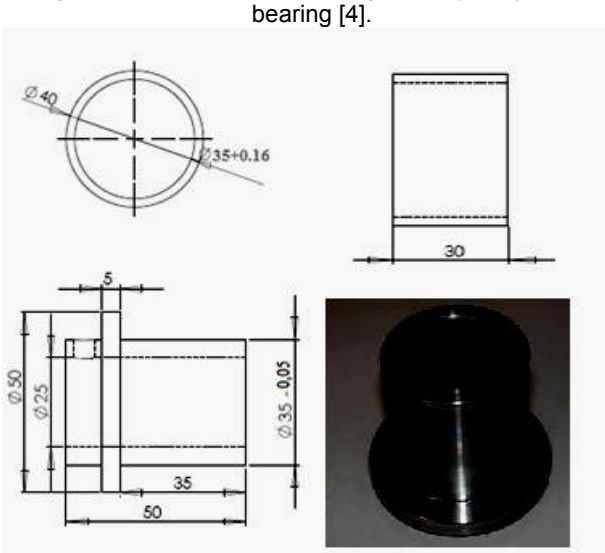


Fig 5. Counter part of journal bearing [5].

With the LPV test-apparatus, a journal bearing is tested with a constant angular shaft velocity and an increasing load. The load on the bearing is increased until failure occurs. The friction and bearing temperature are continuously recorded. This test-apparatus is used to obtain LPV data for bearing materials. The LPV test-apparatus (see Fig. 2, 3) consists of a rotating shaft supported by ball bearings. This shaft is made of stainless steel, all other major parts are made of aluminum except ball bearing cage. A test bearing is mounted in a bearing holder and placed on the shaft. This bearing holder can rotate freely around the shaft. A vertical load (W) is applied to the end of a screw rod fixed to the bearing holder. The friction moment(Mf) of the test bearing will force the bearing holder to rotate around the shaft until W is in equilibrium with Mf. The Friction moment and coefficient of friction are presented in Equation 1, 2 and 3. The contacting screw rod to loadcell carries out tangential force to loadcell when counter part mounted into journal bearing start to rotate by forcing to friction of journal bearing. The

load and speed, the friction and wear and the temperature are continuously recorded with Grant 2020 data logger.

$$\text{MLoadcell (ML)} = \text{Mfriction (Mf)} \quad (1)$$

$$\text{Mfriction} = \text{Fs} \times \text{r} \quad (2)$$

$$= \text{Fs/Fr} \quad (3)$$

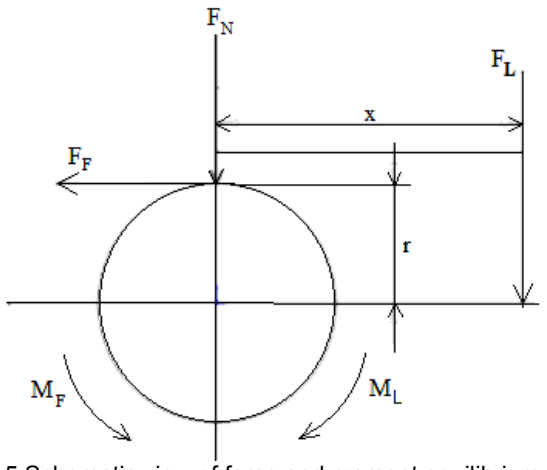


Fig. 5 Schematic view of force and moment equilibrium [5].

Where FL is obtained force from loadcell, x is distance of between loadcell and center of journal bearing, FF is friction force, r is radius of journal bearing, FN is applied load, μ is coefficient of friction, ML is loadcell moment and MF is friction moment [5].

3. Conclusion

LPV wear test apparatus were designed and tested by using thermoplastic journal bearing at dry conditions. By testing journal bearing small fluctuations were examined due to occurred magnetic area. Therefore data logger was put away from test apparatus to protect magnetic area. Friction force and temperatures were obtained from loadcell and thermocouples sensitively. At the first testing of journal bearing, some problems about production of journal bearing with injection method were come up against. Shrinkage of thermoplastic materials are different. Therefore, the size of journal bearing changes according to materials. This situation affects to montage of journal bearing to aluminum holder especially for low thickness of journal bearings. In addition, different thickness of journal bearing at same specimens comes up with contact trouble between journal bearing and counterpart surfaces. And so, contact surface of journal bearing should be grinded and polished and same thickness of journal bearing and roughness surface should be provided to get well data. As thermocouple for getting temperature data from contact surface, surface thermocouple should be used.

Acknowledgments

This work is supported by the Coordinatorship of Selcuk University's Scientific Research Project.

References

[1] Kukureka, S.W., Hooke, C.J., Rao, M., Liao, P., Chen, Y. K., The effect of fiber reinforcement on the friction and wear of polyamide 66 under dry rolling – sliding contact, Tribology International, vol.66, pp. 107- 116, 1999.

[2] Khedkar, J., Nagulescu, J., Meletis, E. I., Sliding wear behavior of PTFE composites, Wear, vol.252,pp. 361-369, 2004.

[3] Demirci, M.T., Düzcükoğlu,H., The investigation of pa 66 journal bearing wear characteristics and effects of wear temperatures, 13. International Material Symposium (2010) 1446-1452.

[4] Demirci, M.T., Düzcükoğlu, H., Wear behaviors of Polytetrafluoroethylene and glass fiber reinforced Polyamide 66 journal bearings, Materials and Design, vol.57, pp.560-567,2013.

[5] Demirci MT. Experimental investigation of tribologic properties of journal bearing based on polymer. Turkey: Selcuk University, Natural Science Institution; 2009.

[6] Ron A.J., Ostayen V., Beek A.V., Thermal analysis of an LPV test-ring, Tribology International, vol. 32, pp. 33-38, 1999.

BLOK-DİSK AŞINMA TEST CİHAZININ TASARIMI VE İMALATI

DESIGN AND MANUFACTURING OF THE BLOCK-DISC WEAR TESTING APPARATUS

Safa ŞENAYSOY[a] ve Recai Fatih TUNAY[b]
[a] Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,Bilecik, Türkiye, E-posta: safa.senaysoy@bilecik.edu.tr
[b] Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, E-posta: recaitunay@sdu.edu.tr

Özet

Birbirine göre izafi hareket eden cisimlerin yüzeylerinden istenmeyen bir şekilde malzeme kopması ile aşınma meydana gelmektedir. Dişliler, kamalar, kayış ve kasnak sistemleri, millerin bağlı oldukları yataklar, burçlar, fren ve kavrama sistemleri gibi makine elemanlarında aşınma önemli bir problemdir. Aşınma probleminden dolayı makine elemanları görevlerini yerine getirememekte ve bu da zaman ve para kaybına sebep olur. Bundan dolayı birlikte çalışan makine elemanlarındaki sürtünme ve aşınmalardaki malzeme kayıplarını azaltmak tasarımcıların öncelikleri arasındadır. Bu yüzden farklı malzemeler üzerine farklı aşınma deneyleri yapmak gereklidir. Çalışma koşulları aşınma deneyine ne kadar uyarlanabilirse aşınma deneyleri o kadar çok tutarlı olacaktır. Yapılan çalışmalara göre farklı aşınma özellikleri için farklı aşınma deney cihazları kullanılmıştır. Bundan dolayı pim-disk, blok-disk, çok yönlü test gibi birçok aşınma deney cihazı tasarlanmıştır. Bu çalışmada, çeşitli malzemelerin aşınma dirençlerini belirlemek için blok-disk tipi aşınma deney cihazı tasarlanıp üretilmiştir.. Üretilmiş olan bu aşınma deney cihazında malzemelerin farklı yüklerde, farklı kayma hızlarında, farklı kayma mesafelerinde; kuru ve yağlı koşullar altında sürtünme katsayıları ve aşınma davranışları incelenebilecektir.

Anahtar kelimeler: Blok-Disk Aşınma Deney Cihazı, Sürtünme ve Aşınma.

Abstract

Wear occurs at the materials because of snapping from objects that move relatively to each other. Wear is an important problem for the machine elements which attached shafts such as gears, wedges, belt and pulley systems, bearings bushings, and others like brake - clutch systems. Machine elements become unusable due to wear and this result in loss time and money. Therefore, reducing the material loss because of friction and wear in the machine elements which operate together is priority for designers. So, conducting different wear tests is required on different materials. The more operating conditions can be adapted to the wear test the more wear test will be very consistent. According to studies, different wear test apparatus were used for different wear characteristics. Therefore, a lot of wear test apparatus such as pin-disc, block-disc, multi-directional test were designed. In this study, a block-disc wear testing apparatus was designed and manufactured to determine wear resistance of various materials. By the help of this wear test apparatus produced, wear behavior and friction coefficient at different loads, different sliding speeds, and different sliding distances, under the dry and oily condition, of materials can be investigated.

Keywords: Block-Disc Wear Testing Apparatus, Friction and Wear

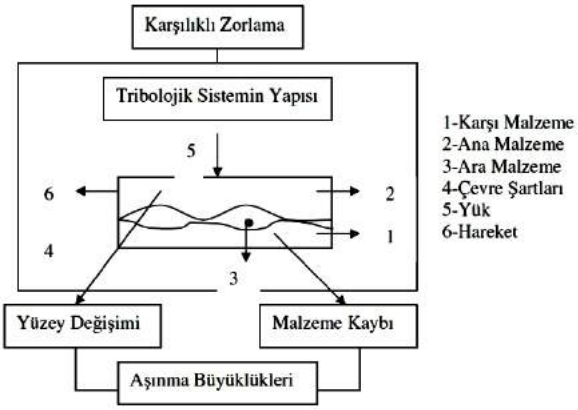
1. Giriş

Aşınma, birbiriyle temasta olan elemanlar arasında, farklı tribolojik etkilerle oluşan ve istenmeyen malzeme kaybı şeklinde tanımlanmaktadır [1]. Böylece yüzeyler ilk şekillerini bozarlar, parçalar arasındaki boşluk büyür ve istenilen fonksiyonu yerine getiremez. Ayrıca DIN 50320 ve ASTM G40-93 standartlarına göre aşınma, kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı veya gaz) teması durumunda mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması şeklinde tanımlanır [2]. Dünya çapında yapılmış olan istatistiklere göre makine elemanlarının çoğunun kullanılmaz duruma gelmesinin sebebi aşınmadır. Aşınmaya ilaveten sürtünmeden kaynaklanan enerji kayıpları da büyük miktarlarda harcamalara yol açmaktadır. Bundan dolayı aşınmanın makine tasarımında önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu olayları engellemek için alınması gereken önlemlerin başında yağlama gelmektedir. Sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı gerçekleşen olayları inceleyen bilim dalına triboloji denilmektedir. Triboloji bilimi bu olayları teorik ve deneylere dayanarak inceleyerek, uygulamada bu kayıpların önlenmesi için öneriler sunmaktadır [3]. Bu yüzden farklı malzemeler üzerine farklı deneyler yapmak gereklidir. Gerçek çalışma koşulları aşınma deneylerine ne kadar çok uyarlanabilirse aşınma deneyi sonuçları o kadar çok tutarlı olacaktır [4]. Bundan dolayı birçok aşınma test cihazı geliştirilmiştir. Ünlü vd. (2009), çalışmalarında yaygın olarak kullanılan alüminyum esaslı yatak malzemelerinin aşınma özelliklerini inceleyebilmek için radyal kaymalı yatak aşınma cihazını kullanmışlardır [5]. Miyajima vd. (2013) MoS_2 yüzey kaplamalı Al-Sn-Si alaşımlarının aşınma özelliklerini git-gel aşınma cihazında araştırmışlardır [6]. Dwivedi (2006), ötektiküstü Al-Si alaşımlarının aşınma davranışlarını belirlemek için pim üstü disk aşınma cihazını kullanmıştır [7]. Literatürdeki yapılan çalışmalara bakıldığı zaman farklı aşınma ve ortam özellikleri için farklı aşınma test cihazlarının kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada abhesiv aşınma deneylerinde kullanmak için farklı aşınma ortamlarında farklı malzemelerin aşınma özelliklerini inceleyebilmek için disk üstü blok aşınma cihazı tasarlanarak üretilmiştir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

2. Tribolojik Sistem

Aşınma ve sürtünme olaylarının meydana geldiği sistemlere tribolojik sistemler denir. Mühendislik malzemelerinin aşınma ve sürtünme davranışlarının belirlenmesinde mekanik sistemleri bir tribolojik sistem olarak ele almak gerekir[8]. Yani aşınma ve sürtünme olayı bir sistem bütünlüğü olarak ele alınmalıdır. Şekil 1' de tribolojik bir sistemin elemanları görülmektedir.



Şekil 1. Tribolojik Sistemin Şematik Gösterimi [2]

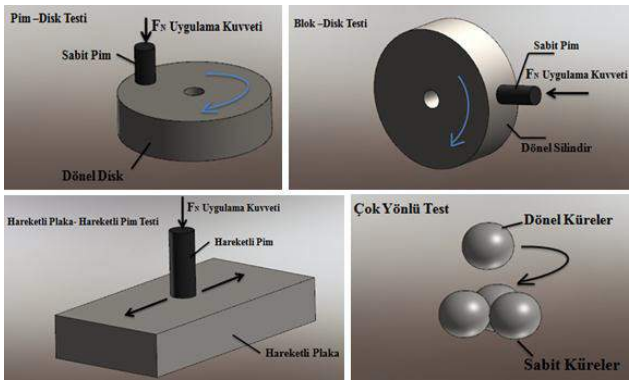
Tribolojik sistemi oluşturan unsurlar ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük, hareket ve çevreden oluşmaktadır. Tribolojik bir sistem bu unsurların çoğunu içinde bulundurur. Aşınma çiftini oluşturan ana malzeme ve karşı malzeme aralarında belli bir ara malzeme varken az veya çok yük altında hareket etmeye başladıklarında aşınma başlar. Ana malzeme; metal, mineral, plastik, kauçuk, ağaç, deri vs. gibi aşınma karakteristiğine önem verilen katı cisimlerdir. Aşındıran malzeme ise; metal, mineral, plastik, ağaç vs. olabileceği gibi sıvı ve gazlarla karışım durumunda da olabilir. Ara malzemeler ise yağlar, aşınma parçacıkları vb. olabildiği gibi bazen hiçbir maddede olmayabilir. Çevre çalışma ortamıdır. Yükleme darbeli,darbesiz, sabit, değişken vs. şeklinde veya bunların birden fazlasının bir arada bulunması şeklinde de olabilir. Hareket ise kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, darbe gibi biçimlerde olabilir [8].

Tribolojik sistemde ortaya çıkan aşınma mekanizmaları da farklılık gösterebilir. Adhesiv aşınma, abrasiv aşınma, yorulma aşınması, korozyon aşınması gibi mekanizmalarla tanımlanan aşınma, tribolojik sistem içerisinde genellikle tek başlarına bulunmazlar. Ancak etken olan aşınma mekanizmasına göre önlemler yoğunlaştırılabilir [8].

Tribolojik test cihazları, gerçek sistemlerde etkilerinin analiz edilebilmesinin zorluğu ve ölçümlerinin uzun sürelerde ve güçlükle yapılabilmesinden dolayı model sistemlerin geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. Araştırmacılar genellikle inceledikleri sistemi dikkate alarak çalışmalarında kullanacakları aşınma test cihazını seçerler ve tasarlarlar. Bu seçim veya tasarımlara, gerçek sistemi oluşturan tribolojik unsurları sağlayabilen ve sonuçları büyük oranda tekrarlayabilen cihazların belirlenmesi önemlidir. Aşınma test cihazları kısmen standartlaştırılmıştır. Ancak standart test cihazlarında her sistemin şartlarını bulmak mümkün olmamaktadır [8].

3. Aşınma Test Modelleri

Aşınmanın gerçek sistemlerde belirlenmesinin zorluğu, bir kısmı standartlaştırılan model cihazların geliştirilmesine yol açmıştır. Model cihazlarda tribolojik sistemi oluşturan unsurların, gerçek sisteme uygun şekilde oluşturulması, sonuçların tekrarlanabilir olması bu cihazlardan beklenen özelliklerdir [9]. Kayma, sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre Şekil 2' de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2. Aşınma Deney Türlerinin Şematik Resmi [10]

Model aşınma test cihazlarıyla yapılan testlerin amaçları genellikle şöyle sıralanabilir;

- Sistem elemanlarının verimini, ömrünü, güvenilirliğini, fonksiyonunu, bakım yapılabilirliğini belirlemek ve kalite kontrolünü yapmak
- Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarını belirlemek
- Malzeme kayıplarının araştırılması
- Yeni malzeme veya sürtünme ve aşınma azaltıcı yöntemlerin geliştirilmesi [10].

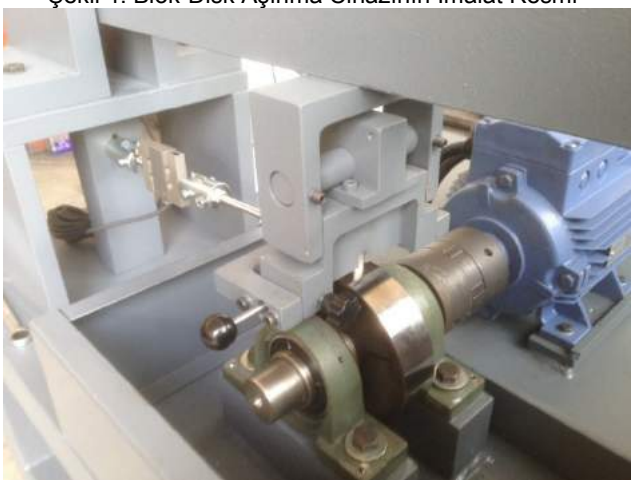
4. Blok-Disk Aşınma Deney Cihazının Tasarımı ve İmalatı

Bu çalışmada farklı yüklerde, farklı kayma hızlarında, kuru veya yağlamalı koşullarda sürtünme ve aşınma deneylerinin yapılabileceği blok-disk aşınma deney cihazının tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Tasarlanmış olan deney cihazının resmi Şekil 3' te verilmektedir.

Şekil 3. Blok-Disk Aşınma Cihazının Tasarım Resmi

Blok-disk aşınma test cihazının imalat resmi şekil 4' teki gibidir. Aşındırıcı diskin mile bağlı olduğu mil iki taraftan rulmanlı yataklar ile yataklanarak kaplin aracılığı ile doğrudan elektrik motoruna bağlanmıştır. Diskin üzerinde aşınma deneyleri yapılacak olan numuneleri bağlama aparatı bulunmaktadır. Bu aparata numuneler kolayca bir pim vasıtası ile bağlanabilmektedir. Numune tutucu aparatı da rulmanlı yatak ile yük koluna bağlanmıştır. Rulmanlı yatak vasıtası ile numune tutucu aparat rahatlıkla hareket edebilmektedir. Numune tutucunun hareket ekseni ile aynı eksene bağlanan yük hücresi vasıtası ile sürtünme kuvvetleri tespit edilebilecektir. Yük kolunun bir tarafında dengeleme ağırlığı diğer tarafında yükleme çubuğu bulunmaktadır. Aşınma deneyine başlamadan önce numune, numune tutucuya bağlanarak aşındırıcı diske yüksüz temas edecek şekil su terazi ile dengelenir. Daha sonra numuneye uygulanması istenen yük ayarlanarak yükleme çubuğuna asılır. Elektrik motoru istenilen devire ayarlanarak aşınma deneylerine başlanır. Aşınma deneylerinde yük hücresi, indikatör ve data logger yazılımı sayesinde oluşacak sürtünme kuvvetleri anlık olarak kaydedilerek sürtünme katsayıları hesaplanabilecektir. Aşınma miktarları 0,1mg hassasiyete sahip elektronik terazide deneye başlamadan önce ve deneyden sonra ağırlıklar ölçülerek hesaplanacaktır.

Şekil 4. Blok-Disk Aşınma Cihazının İmalat Resmi



Şekil 5. Blok-Disk Aşınma Cihazının Numune, Numune Tutucu ve Aşındırıcı Diskin Yakından Görünüşü

4.1. Blok-Disk Aşınma Cihazını Oluşturan Elemanlar

4.1.1 Elektrik Moturu ve Sürücü

3 kw güce ve 50 Hz frekansında 1475 d/dk devre sahip 380 V gerilimde çalışan abana marka harici soğutmalı elektrik motoru kullanılmıştır. Elektrik motorunun devrini ayarlamak için Fuji Frenic-Multi sürücü kullanılmıştır. Sürücü sayesinde elektrik motoru manuel olarak kontrol panelinden istenilen devire ayarlanabilmektedir. Ayrıca aşındırıcı diske tahrik doğrudan motor milinden verildiği için numune yüklenildiği zaman devir kaybı yaşanmaması Autonics E40 marka encoder kullanılmıştır.

4.1.2 Aşındırıcı Disk

Aşındırma yapabilmek için disk malzemesi olarak 100Cr6 rulman çeliği seçilmiştir. Disk 151 mm çapa hassas şekilde tornalandıktan sonra ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem atmosfer kontrollü fırında 860 ^{o}C' de 2 saat bekletilerek yağda soğutularak yapılmıştır. Isıl işlem vasıtası ile diskin sertliği 60 HRC sertliğe ulaştığı ölçülmüştür. Sertleştirme işleminden sonra diskin çapı 150 mm çapa ve yüzey pürüzlülüğü 0,5 µm olacak şekilde taşlanmıştır.

4.1.3 Yük Hücresi

Sürtünme kuvvetlerinin belirlenebilmesi için s tipi esit marka STCS-50 yük hücresi kullanılmıştır. Yük hücresinden gelen verileri almak için esit marka PWI D masa tipi indikatör ve indikatör üzerinden gelen verileri bilgisayar ortamından anlık olarak görmek ve kaydetmek için Data Logger 1.1.6 veri kaydedici program kullanılmıştır.

5. Sonuçlar

Tribolojik sisteme göre malzemelerin sürtünme ve aşınma özelliklerini belirlemek amacı ile çeşitli testler yapılmaktadır. Bu çalışmada farklı koşullardaki testleri gerçekleştirebilecek blok-disk aşınma cihazı tasarlanıp imal edilmiştir. Blok-disk aşınma test cihazında farklı yüklerde, farklı kayma hızlarında, kuru ve yağlı koşullar altında sürtünme ve aşınma özelliklerini tespit etmek mümkündür.

Kaynaklar

[1] Soydan Y., Ulukan L., Temel Triboloji, Kopisan, 362s, Sakarya, Türkiye, 201

[2] Koç R., Bilgisayar Kontrollü Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi (TİMAK-2010), 11-12 Kasım, Balıkesir, Türkiye, 2010

[3] Akkurt M., Makine Elemanları Birinci Cilt, 757s, İstanbul, Türkiye, 2012

[4] Karabaşoğlu M., Aşınma Deney Cihazı ve İmalatı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 103s, Sakarya, Türkiye, 2008

[5] Ünlü B. S., Durmuş H, Akgün S., Tribological and Mechanical Properties of Al Alloyed Bearings, Journal of Alloys and Compounds, Vol 487,pp. 225-230, 2009

[6] Miyajima T., Tanaka Y., Iwai Y., Kagohara Y., Haneda S., Takayanagi S., Katsuki H, Friction and wear properties of lead-free aluminum alloy bearing material with molybdenum disulfide layer by a reciprocating test, Tribology International, Vol 59, pp. 17-22, 2013

[7] Dwivedi D. K., Wear behaviour of cast hypereutectic aluminium silicon alloys, Materials & Design, Vol 27, pp. 610-616, 2006
[8] Güleryüz K., Deformasyon Yaşlanmasının AA7075 Alaşımının Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Etkisi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 149s, Karabük, Türkiye, 2011
[9] Büyükdoğan S., Yaşlandırılan Al-Mg-Si Alaşımının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 111s, Karabük, Türkiye, 2011
[10] Akgün G., Özel C., Bilgin A., Yurtseven G., Pnömatik Tip Aşınma Deney Cihazının Tasarımı ve İmalatı, 3. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresi (TİMAK-2012), 29-30 Kasım, Balıkesir, Türkiye, 2012

KOMPOZİT VE ALÜMİNYUM EKSTERNAL FİKSATÖR SİSTEMLERİNİN NÜMERİK OLARAK KARŞILAŞTIRILMASI

NUMERICAL COMPARISON OF COMPOSITE AND ALUMINUM EXTERNAL FRACTURE FIXATION SYSTEMS: A FEM STUDY

Eser PALA ve Seçkin ERDEN
Ege Üniversitesi, Izmir, Eposta: pala.eser@gmail.com; seckin.erden@ege.edu.tr

Özet

Bu çalışmada çoğunlukla tibia kemiğinde ve ayrıca femur, humerus, ayak ve ön kol kemiklerinde meydana gelen kırıkların tedavisinde kullanılan alüminyum ve kompozit eksternal fiksatörlerin Sonlu Elemanlar Metodu(SEM) analizi ile karşılaştırılması anlatılmaktadır. Sistemin ana bileşeni olan halka deformasyon ve gerilme dağılmaları belirlenmek amacıyla Ansys yazılımı kullanılarak analizleri yapılmıştır. Sonuçlar, fiksatör analizlerinin tutarlı olduğunu göstermiştir. Aynı yükleme ve sınır koşulları altında alüminyum ve kompozit eksternal fiksatörlerin malzeme değişimi gözönüne alınarak kıyaslaması yapıldı.

Anahtar kelimeler: Kompozit, Kemik, External Fiksatör, Tibia, Alüminyum.

Abstract

This work describes a finite element method (FEM) comparison of composite and aluminum external fixators, which are most commonly applied to the bone fractures that occur at tibia, but also the ones occuring at femur, humerus, foot, and forearm. Computational analysis of each individual component of the system was realized to determine their deformations and stress distributions. Each model was analyzed by ANSYS, a modular FE modeling system, which helped FE models of the individual components to be generated, positioned, and interconnected to replicate a range of fixator configurations. The results showed that the predictions from the FE modeling of the fixator configurations were consistent. At the end, the mechanical properties were compared with respect to aluminum and composite external fixator material under the same loading case.

Keywords: Polymeric composite material, Bone fracture, External fixator, Tibia, Aluminum.

1. Giriş

External Fiksatörler hastaların uzun ömürlü kemik-eklem sağlığı ihtiyaçlarına yönelik onlara aktif ve mobil yaşam tarzı sağlamak amacıyla kullanılır. Fiksatörler sadece kırık kemik iyileştirmeye yönelik tedavi değil aynı zamanda hastanın uzun dönemde fonksiyonlarının korunması ve yaşam kalitesini arttırmak için de kullanılmaktadır. Doğumdan gelen veya yaralanma sonucu sonradan oluşan fiziksel deformiteleri olan hastaların normal anatomilerini yeniden yapılandırma amaçlı da kullanılmaktadır. Ekternal fiksatörlerde yük hastanın ağırlığı, yumuşak dokular gibi çeşitli faktörlere bağlıdır [3]. Çeşitli biyomedikal uygulamalarda farklı tiplerde polimerik kompozit malzemeler kullanılmaktadır. Polimerik Kompozit Malzeme seçilen uygulamadaki avantajlı yönlerine göre belirlenmelidir.[4] Halka, Tel ve çubuklardan oluşan Sirküler eksternal fiksatör sistemlerine ilizarov eksternal fiksatör sistemleri olarak adlandırılmaktadır [2].

Bu çalışmada alüminyum ve kompozit malzeme kullanılarak tasarımı yapılmış olan ilizatrov eksternal fiksatör sistemlerinde kullanılan halka parçasının mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

2. Malzeme ve Metot

Fiksatörler işlevini daha sağlıklı bir şekilde yerine getirmesi ve kullanım süresince ortaya çıkabilecek sıkıntıların en aza indirilmesi amacıyla uluslararası kuruluşlar tarafından gerekli test standartları belirlenmiştir (ASTM F 1541 – 99). Üretimi gerçekleştirilecek olan fixatörlerin uluslararası kuruluşlar tarafından belirlenen bu standartları yerine getirmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar teknolojisindeki gelişmeler ve ANSYS gibi yazılımların bu teknolojiyi kolay kullanılabilir hale getirmesi birçok alanda olduğu gibi medikal alanda da birçok yeniliği beraberinde getirmektedir. Böylelikle henüz tasarım aşamasındayken doğru malzemeyi ve tasarım kriterlerini seçerek gerekli düzenlemeler yapılabilir. Bu sayede zamandan ve ilave testler için gereken harcamalardan tasarruf edilebilir.

2.1. Malzeme Özellikleri ve Test Koşulları

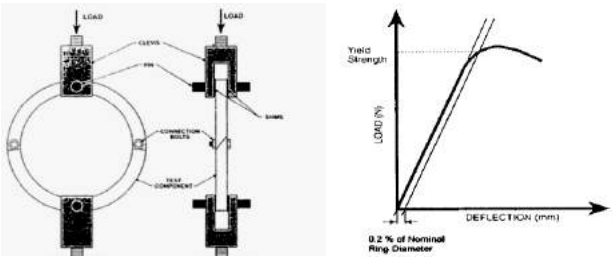
Bu çalışmada ASTM(The American Society for Testing and Materials) tararından hazırlanan F 1541 – 99 nolu standardında belirtilen test koşulları analizlerde kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan alüminyum lineer isotropik malzemesinin mekanik özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 1). Bu çalışmada kullanılan Orthotropik malzeme olan Epoxy_Carbon_Woven_230GPa_Prepreg malzemesinin mekanik özellikleri aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2).

2.2. Tasarım, Yükleme ve Sınır Koşulları

Tasarım Ansys Designmodeler yazılımı kullanılarak dış çapı 120mm genişliği 8 mm delik sayısı 19 olacak şekilde yapılmıştır. Yükleme ve sınır koşulları standartta belirtilen test koşullarının basitleştirlmesi amacıyla tek halka üzerinde uygulanmıştır. Sınır koşulları (Compression Only Support) B ile yükleme koşulları (Bearing Load) A ile gösterilmiştir. Eksternal Fiksator sistemlerinde 500 N ile

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

1300N arasında halkalara çeki yüklemesi yapılmaktadır [2]. Alüminyum ve Kompozit Sirküler Eksternal Fiksatör sistemlerinde kıyaslamayı maksimum yük olan 1300N olarak uygulanmıştır.



a. Yükleme koşulları b. Yükleme grafiği

Şekil 1. ASTM F 1541 – 99 standardına uygun olarak yükleme koşulları (a) ve grafiği (b) [1]

Çizelge 1. Alüminyum Malzeme Mekanik Özellikleri

Yoğunluk	2,77e-006 kg mm^{-3}
Termal Genleşme Katsayısı	2,3e-005 C^{-1}
Akma Dayanımı –Bası ve Çeki- Mpa	280
Young Modülü MPa	71000
Poisson Oranı	0,33
Bulk Modülü MPa	69608

Çizelge 2. Kompozit Malzeme Mekanik Özellikleri

Yoğunluk	1,42e-006 kg mm^-3
Young Modülü (X,Y) MPa	61340
Young Modülü (Z) MPa	6900
Poisson Oranı (XY)	4,00E-02
Poisson Oranı (YZ, XZ)	0,3
Çekme Dayanımı (X,Y) MPa	805
Çekme Dayanımı (Z) MPa	50
Bası Dayanımı (X,Y) MPa	-509
Bası Dayanımı (Z) MPa	-170

a. Alüminyum b. Kompozit

Şekil 2. Eksternal Fiksatör Yükleme ve Sınır Koşulları

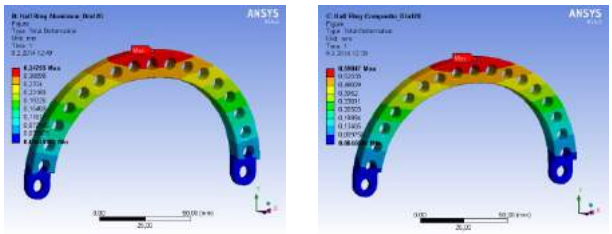
3. Sonuçlar

Oluşturulan geometri Ansys yazılımı ile analizi yapılmış ve sonuçlar aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

3.1. Deformasyon

3.1.1 Toplam Deformasyon

Alüminyum ve Kompozit Ekternal fiksatör analizlerinde Ansys yazılımı kullanılmıştır.



a. Alüminyum b. Kompozit

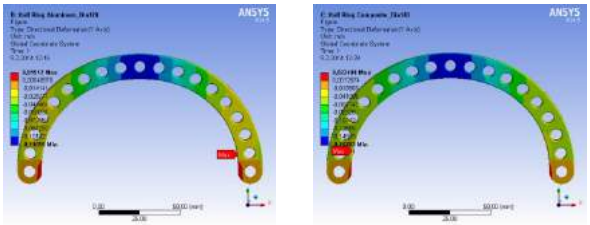
Şekil 3. Eksternal Fiksatör Toplam Deformasyon Değerleri

3.1.2. Deformasyon- - X ekseni

a. Alüminyum b. Kompozit

Şekil 4. Deformasyon Değerleri- X ekseni

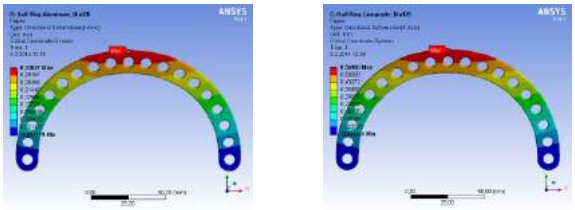
3.1.3. Deformasyon- - Y ekseni



a. Alüminyum b. Kompozit

Şekil 5. Deformasyon Değerleri- Y ekseni

3.1.4. Deformasyon- - Z ekseni



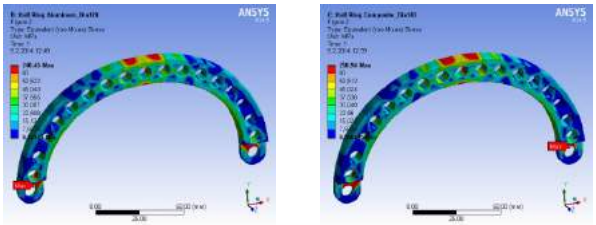
a. Alüminyum b. Kompozit

Şekil 6. Deformasyon Değerleri - Z ekseni

3.2. Gerilmeler

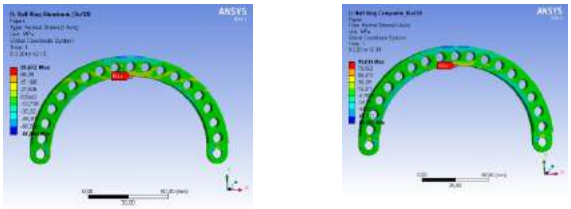
Alüminyum ve Kompozit Ekternal fiksatör tasarımları için gerilme değerleri hesaplanmıştır.

3.2.1. Gerilmeler - Eşdeğer Gerilmeler (Von Misses)



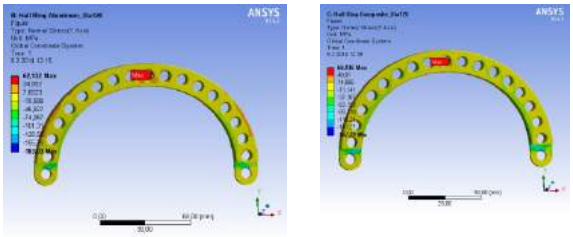
a. Alüminyum b. Kompozit
Şekil 7. Eksternal Fiksatör Eşdeğer Gerilme Değerleri

3.2.2. Gerilmeler - X Ekseni



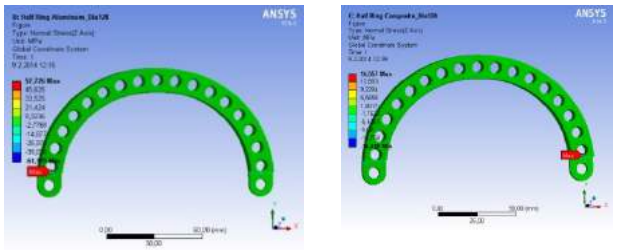
a. Alüminyum b. Kompozit
Şekil 8. Eksternal Fiksatör Gerilme Değerleri- X Ekseni

3.2.3. Gerilmeler - Y Ekseni



a. Alüminyum b. Kompozit
Şekil 9. Eksternal Fiksatör Gerilme Değerleri- Y Ekseni

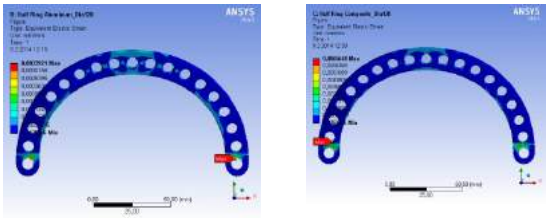
3.2.4. Gerilmeler - Z Ekseni



a. Alüminyum b. Kompozit
Şekil 10. Eksternal Fiksatör Gerilme Değerleri- Z Ekseni

3.3. Eşdeğer Birim Şekil Değiştirme

Alüminyum ve Kompozit Ekternal fiksatör tasarımları için eşdeğer birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.



a. Alüminyum b. Kompozit
Şekil 11. Eksternal Fiksatör Birim Eşdeğer Şekil Değiştirme Değerleri

4. Tartışma

Bu çalışmada Alüminyum ve Kompozit Ekternal fiksatör modelleri tasarlanmış Ansys yazılımı kullanılarak aynı yük ve sınır koşulları altında karşılaştırılmalı analizleri yapılmıştır. Alüminyum fiksatördeki X,Y,Z yönündeki deformasyon ile toplam deformasyon değerleri Kompozit fiksatöre göre daha düşük olarak tespit edilmiştir. Alüminyum fiksatördeki X,Y yönündeki gerilme ile eşdeğer gerilme değerleri Kompozit fiksatöre göre daha düşük, Z yönünde ise daha yüksek olarak tespit edilmiştir. Toplam birim şekil değiştirme oranı Alüminyum fiksatörde daha düşük olarak tespit edilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Analiz Sonuçları

	Aluminyum	Kompozit
Toplam Deformasyon-(mm)	0,3475	0,5904
Deformasyon- X-(mm)	0,0399	0,0548
Deformasyon- Y-(mm)	0,0151	0,0224
Deformasyon- Z-(mm)	0,3302	0,5690
Eşdeğer Gerilme - (Mpa)	240,450	250,96
Normal Gerilme – X - (Mpa)	85,672	95,633
Normal Gerilme - Y- (Mpa)	62,132	66,936
Normal Gerilme – Z - (Mpa)	57,726	16,557
Toplam Birim Şekil Değiştirme	0,0033	0,0065

Kaynaklar

[1] ASTM Designation: F 1541 – 99- Standard Specification and Test Methods for External Skeletal Fixation

[2] Watson, M., Mathias, K.J., Maffulli, N., Hukinsand, D.W.L., Shepherd, D.E.T., Finite element modelling of the Ilizarov external fixation system, DOI: 10.1243/09544119 JEIM 225

[3] Jan Gessmanna, Birger Jettkant, Thomas Armin Schildhauer, , Dominik Seybold: Mechanical stress on tensioned wires at direct and indirect loading:A biomechanical study on the Ilizarov external fixator, Injury, Int. J. Care Injured 42 (2011) 1107–1111

[4] S Ramakrishna, J Mayer, E Wintermantel, Kam W Leong, : Biomedical applications of polymer-composite materials: a review, Composites Science and Technology 01/2001; DOI:10.1016/S0266-3538(00)00241-4.

TAHRİBATSIZ TEST TEKNİKLERİNDE ISI İLETKENLİK CİHAZI TASARIMI VE KULLANILMASI

DESINGING AND USING A THERMAL CONDUCTIVITY MEASURING EQUIPMENT AS A NON-DESTRUCTIVE TESTING TECHNIQUE

Şeref KURT[a], Mustafa KORKMAZ [b], Burhanettin UYSAL [c], Hüseyin YÖRÜR [d], Muhammed Nuri GÜNAY [e]

[a, c, d, e] Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, E-posta: skurt@karabuk.edu.tr; burhanettinuysal@karabuk.edu.tr; huseyinyorur@karabuk.edu.tr; m.nurigunay@karabuk.edu.tr

[b] Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, E-posta: mustafakorkmaz@duzce.edu.tr

Özet

Ağaç malzeme tarihin başlangıcından beri inşaat malzemesinden el aletleri yapımına kadar değişen çok yönlü bir kullanım alanına sahiptir. Ağaç malzemelerin barınma amaçlı kullanılması neredeyse insanlık tarihi kadar eski bir olgudur. Bununla beraber ahşap evler hâlihazırda varlığını sürdürmekte, özellikle Avrupa kıtasındaki pek çok ülkede ve Amerika'da oldukça yaygın olarak tercih edilmektedir.

Türkiye, özellikle Osmanlı döneminde inşa edilmiş ahşap ve yarı kâgir yapılara sahiptir. Ancak, bu yapıların sadece bir kısmı ilgili dönemi yansıtan kültür mirasları olarak geçmişten günümüze ayakta kalabilmiştir. Bu yapıların restorasyonu ve gerekli bakımlarının yapılması sonraki kuşaklara aktarılmalarında hayati önem taşımaktadır. Günümüzde bu yapıların tetkikleri ilgili kuruluşlar tarafından çoğunlukla gözle muayene yoluyla yapılmaktadır. Son zamanlarda, teknolojik gelişmelere paralel olarak, tarihi ahşap yapılarda konstrüksiyonların sağlamlığını test edebilmek amacıyla bazı tahribatsız test yöntemleri geliştirilmiştir. Bunların başında gözle penatrant (nüfuz edici boya ile) muayene, akustik muayene, mikrodalga ile muayene, elektrik akımı ile muayene ve manyetik akım ile yapılan muayene yöntemleri bulunmaktadır.

Yapılan bu çalışmada dünyada ilk kez uygulanmak üzere ağaç malzemede ısı iletim hızına bağlı olarak ağaç malzemenin sağlamlığı hakkında fikir verebilecek portatif bir makine tasarlanmıştır. Bu makine yardımıyla özellikle büyük cihazların naklinin ve kullanılmasının zor olduğu tarihi ahşap yapılarda gözle muayeneye göre daha sağlam sonuçların alınabilmesi, gözle görülmeyen kusurlarının farkına varılması ve giderilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Isı iletkenliği, Ağaç Malzeme, Tahribatsız Test

Abstract

Wood materials have a versatile usage area from construction material to manufacture of hand tools since the beginning of the history. The using of wood material as construction material is almost as old as the history of mankind. In addition, wooden houses are already in existence. Wooden houses are still widely preferred, especially in many countries in Europe and United States.

Turkey has wooden and half-masonry structures especially built during the times of Ottoman Empire. However, only a part of these structures remain standing from past to the present as cultural heritages reflecting the related period. Maintenances and restorations of this structures have a critical importance for their transfer to the next generations. Today, the tests of these structures are performed with visual inspection by the relevant institutions. Recently, in parallel with technological developments, some non-destructive testing methods have been developed for testing the durability of historical wooden house's constructions. The most important methods among them are penentrant assessment, acoustic assessment, microwave assessment, electricity assessment and magnetic assessment methods.

In this study, for the first time, a portable machine designed that can give an idea about the strength of the wooden material depending on it's the rate of thermal conductivity. With the help of this machine, it is aimed to obtain more consistent assessment in comparison with visual assessment in historical wooden houses where the transport and usage of big machines are difficult. In addition, this study contains recognizing and fixing of invisible defects.

Keywords: Thermal Conductivity, Wood Material, Non-Destructive Test

1. Giriş

İnsan yaşamı ve kültürünün gelişme sürecinde uzun ve mükemmel bir tarihe sahip olan ağaç malzeme; yapılarda taşıyıcı eleman, dış cephe kaplaması, döşeme ve çatı malzemeleri olarak kullanıldığı gibi, endüstriyel konstrüksiyonlar da köprü, iskele ve daha pek çok alanda da yoğun olarak kullanılmaktadır [1].

Ağaç malzemenin yapı malzemesi olarak kullanılması çok uzun yıllar öncesinde başlamış ve teknolojiyle beraber sürekli mevcut verilerin üzerine konularak günümüze kadar gelmiş bir olgudur. Öyle ki; günümüzde ağaç malzeme organik modellerden, köprü inşaatına; çok katlı yapılardan, iç donatı elemanlarına kadar çok geniş bir çerçevede kullanılmakta ve öncelikli tercih sebebi olmaktadır [2].

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Deprem bölgesi olan Amerika'da konutların % 90'ı, ve yine birinci derece deprem bölgesi olan Kaliforniya eyaletinde ise % 99'u ahşaptan yapılmıştır [3].

Ağaç malzemenin böcek ve mantarlar etkisiyle bozulması, rutubete bağlı olarak şekil eğiştirmesi, yanıcılık ve deforme olma gibi sakıncaları vardır. Bu özellikler kullanım ömrünü sınırlar [4]. Yalınkılıç, odun hammaddesi organik bir madde olduğundan, uygun koşullar altında bakteriler, mantarlar ve tahripçi böcekler tarafından yıkıma uğradığını belirtmiştir [5].

Şekil 1. İçeriden çürümüş bir kiriş kesiti

Klorofile sahip olmayan bakteri veya mantarlar beslenmeleri için gerekli besin maddelerini yapamazlar. Yaşayan ağaçların canlı dokularına zarar verenlere parazit, kesilmiş veya ölü dokulara zarar vererek çürüklük yapanlara saprofit mantarlar denir. Oduna zarar veren mantarlar, odunu tahrip edenler ve renk değişimi yapanlar olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Destrüksiyon mantarları en tehlikeli mantarlar olup, odunsu hücre çeperinin selülozunu tahrip ederler. Geriye kalan ligninin rengi nedeniyle esmer çürüklük oluşur. Bu gibi odunlarda boyuna ve enine yönde çatlamalar görülür ve odun küp şeklinde parçalar halinde dağılır. Korozyon çürüklüğü yapan mantarlar ise hücre çeperinin ligninini tahrip ederler. Geriye kalan selüloz nedeniyle beyaz çürüklük oluşur. Bu gibi odunlarda hücre çeperi gitgide dağılır. Yumuşak çürüklük ise hücre çeperinin orta tabakasında meydana gelen bir tahribat şekli olup odunun yalnızca dış yüzeylerindedir. Odun kuruduktan sonra yüzeyde esmer çürüklüğe benzeyen bir doku ve liflere dik yönde çatlamalar görülür [5]. Ağaç malzemeyi oluşturan lignin, selüloz ve hemiselülozu tahrip eden bu etkenler ağaç malzemenin mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerinde doğrudan bir olumsuz etkiye sahiptir.

Tahribatsız muayene yöntemi (TMY), bir malzemenin veya yapının son kullanım yerindeki kapasitesini değiştirmeden fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi olarak tanımlanabilir [6].

Tahribatsız muayenenin en eski formlarından biri olan görsel kereste değerlendirilmesi veya sınıflandırılması, gözlemlenen kusurlar bakımından direnç oranını tahmin edebilecek başka bir metoda ihtiyaç duyar. Bu oran hatalar olmaksızın kerestenin direncini ölçmek için kullanılır. Görsel değerlendirme tamamen subjektiftir ve ölçümü yapan kişi tarafından yönetilir. Tahribatsız muayene testi bu kısıtlamaların ikisini de ortadan kaldırmak için bir imkân sağlamıştır [7].

Tahribatsız tekniklerin gelişimi odunun biyolojik doğasından etkilenmektedir. Tabakalı kereste, kaplama kereste, kontrplak ve diğer odun esaslı ürünlerin üretim sürecinin gelişimindeki kalite kontrolüne verilen yüksek ilgi ve dikkate rağmen, ara yüzeyler hala bu ürünlerin performansında ki en zayıf halkadır. Ara yüzeyler arasındaki entegrasyonu artırmak için, odun esaslı ürünlerin kontrolünde kullanılan tahribatsız muayene yöntemlerini geliştirmek önemlidir [8].

Gelecekte tahribatsız yöntemlerin kullanılacağı kalite kontrol araçları geliştirmek çok önemlidir. Youngquist and Hamilton' a göre tahribatsız malzeme muayenesi 21. yüzyıl için üzerinde durulması gereken çok önemli bir yöntemdir [9].

Isı ve sıcaklık birbiriyle iç içe ancak birbirinden farklı kavramlardır. Sıcaklık bir maddeyi oluşturan taneciklerden herhangi birinin ortalama hareket enerjisini ifade eden bir büyüklük olarak ele alınmaktadır. Isı, sıcaklıkları birbirinden farklı olan herhangi iki madde arasında transfer edilen enerjidir. İki maddeden birinin sıcaklığının diğerinin sıcaklığından fazla olması durumunda sıcaklığı fazla olandan daha az olana doğru enerji akışı meydana gelmektedir. Bir başka deyişle bir maddeyi oluşturan taneciklerin toplam hareket enerjisine ısı denir.

Sürekli bir maddede sıcaklık farklılıkları varsa, herhangi bir hareket gözlenmeden ısı akışı meydana gelir. Bu tür ısı akışına moleküler iletim veya sadece iletim denir. İletim moleküler boyuttadır ve mekanizması, herbir molekülün momentumunun sıcaklık farklılığı boyunca taşınmasına dayanır. Örneğin, bir tüpün metal duvarının veya bir fırının tuğla duvarının ısınması bu tür bir mekanizmayla gerçekleşir. İzotermal bir yüzeyden geçen ısı akış hızı ve yüzeydeki sıcaklık için Denklem (1)'deki A = izotermal yüzeyin alanı, q= yüzeye normal yöndeki ısı akış hızı, T = sıcaklık, n = ölçülen mesafe (yüzeye dik doğrultuda); k = orantı sabiti olduğuna göre kondüksiyonla ısı akışının temel denklemi aşağıdaki gibidir [10].

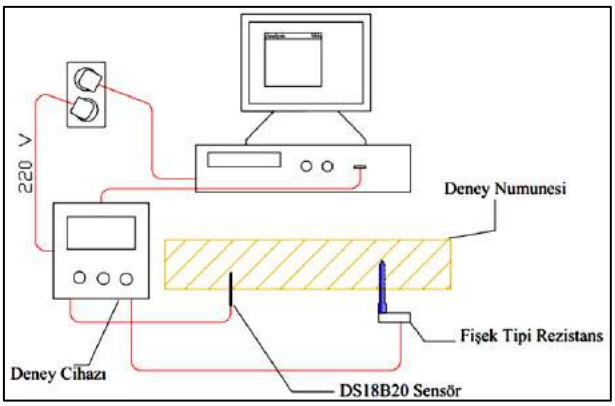
$$\frac{dq}{da} = -k\,\frac{\partial t}{\partial n} \qquad (1)$$

Isı iletim katsayısı malzemenin fiziki bir özelliği olup, ısıyı iletme kabiliyetini gösterir. Isı iletim katsayısı fiziksel olarak, birim uzunluktaki bir maddenin iki yüzeyi arasındaki 1 °C sıcaklık farkı olması halinde birim yüzeyden transfer olan ısı olarak ifade edilebilir ve bütün maddeler için farklı olup, maddenin yapısına, nemliliğine ve sıcaklığına bağlı olarak değişir. Maddenin kompozisyonu ile birlikte maddenin özel fiziko-kimyasal karakteristiklerine ve işlem boyunca maddenin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimlere bağlıdır. Sıcaklık, ısı transferi esnasında değiştiğinden, ısı iletim katsayısının sıcaklığa bağlılığının tayini önemli bir faktördür. Bu konuda yapılan çalışmalar, birçok malzemenin ısı iletim katsayısının küçük sıcaklık farklarında sıcaklıkla lineer olarak değiştiğini göstermiştir [11].

Isı iletkenliği önemli derecede yoğunluğa bağlıdır [12]. Yoğunluğu fazla miktarda olan odunların çoğu yüksek oranda dayanıma sahiptir [13]. Dündar ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ağaç malzemenin yoğunluğu ile ısı iletkenliği arasında büyük bir ilişki (%95 güven

seviyesinde) olduğunu bulmuştur. Özellikle deney örneği temin etmenin mümkün olmadığı, kullanıldığı yerde test edilmesi gereken ağaç malzemelerin yoğunluklarının tahribatsız olarak test edilmesi güvenli, kolay ve düşük maliyetli bir metot olarak belirtilmiştir. Ayrıca ısı iletkenlik katsayısının portatif bir cihaz yardımıyla ölçülebileceği, bu sayede yoğunluk ile ağaç malzemenin sağlamlığı arasındaki yakın ilişkiden faydalanarak ilgili malzemenin sağlam olup olmadığının belirlenebileceğini bildirmişlerdir [14].

Yapılan bu çalışmada ağaç malzemenin ısıyı iletme özelliği, yoğun malzemelerde ısı iletiminin daha fazla olması ve yoğunlukla dayanıklılık arasındaki ilişkiden yararlanılarak ağaç malzemenin dayanıklı olup olmadığına yerinde karar verebilmek için kullanılabilecek portatif bir ısı iletkenlik katsayısı ölçüm makinesi tasarlanmıştır.



Şekil 2. Deney Şeması

Tasarlanan makine bir ısı kaynağı, bir sıcaklık ölçüm probu ve bir sıcaklık kaydedici (datalogger) devresini kapsamaktadır.

2. Materyal ve Metod

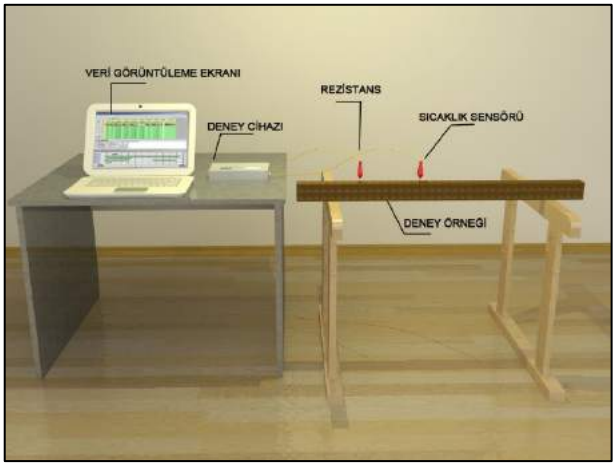
Çalışmada ağaç malzeme içerisindeki ısı akışını liflere dik ve liflere paralel olarak gerçekleştirebilmek adına fişek tipi ve mika yalıtımlı plaka tipi olmak üzre 2 farklı tip ısıtıcı rezistans kullanılması düşünülmüştür. Kullanılan fişek tipi rezistans çapı 10 mm, uzunluğu 8 cm elektrik özellikleri ise 230 V, min. 150 w maks. 350 w değerdedir. Bu resitantlarda sıcaklığı belirli aralıklarla koruyabilmek amacıyla 0,1 °C hassasiyetinde termostat devresi tasarlanmış, ısı sensörü olarak - 55 °C ve + 125°C aralığında ayarlanabilen DS18B20 kullanılmıştır. DS18B20 sensörü, -10 ºC ile 85 ºC arasında ± 0,5 ºC yanılma payı ile çalışmaktadır. Devrede ayarlanan alt SET değerinin altına indiğinde röle aktif hale gelmekte, yine ayarlanan üst SET değerine ulaştığında ise röle devre dışı kalmaktadır.

Şekil 3. Fişek Tipi Rezistans

Ağaç malzeme içerisindeki ısı akışını ölçmek için 2 metrelik bir alıcı (prob) uzaklığı bulunan ve USB veri yolu ile bilgisayara veri aktarımı yapan bir dijital termometre tasarlanmıştır. Bu işlem için PIC18f4550 mikro denetleyici, RA5 pine bağlı olan DS18B20 sıcaklık sensörü ile elde edilen veriyi okuyup, USB standardını kullanarak bilgisayara aktarmaktadır.

Şekil 4. DS18B20 Sıcaklık Sensörü

Elde edilen veriler ise analiz edilmek amacıyla kullanıcının belirlediği zaman aralıklarında tutulmakta, deney bittiğinde ise CSV (virgülle ayrılmış değerler) formatında kaydedilmektedir.



Şekil 5. Çalışma Standı

Bu veriler MS Excel yazılımına aktarılarak zamana bağlı ısı iletim hızı grafiği ve ısı iletim katsayısı hesaplanmaktadır. Cihazdan elde edilen verilerle ağaç malzemelerin yoğunluk ilişkilendirmesi ilgili çalışmanın bir sonraki ayağını oluşturmaktadır.

3. Beklenen Yararlar

Ağaç malzemede meydana gelen kusurlar ağaç malzemenin mekanik performansında düşüşe yol açmaktadır. Özellikle gözle muayene ile seçilemeyen iç çatlak, çürüklük veya lignin ve selülozu tahrip eden mantarların oluşturduğu yumuşak dokular taşıyıcı elemanlarda büyük sorunlar teşkil etmekte; gerek bu taşıyıcıların bulunduğu yapılarda yaşayanları gerekse de tarihi değeri bulunan bu yapıları tehdit etmektedir.

Yapılan bu çalışma ile bu sorunların kolayca tespit edilebilmesi beklenmektedir. Bu sayede sağlam olan malzeme ile çürük olan malzeme tahrip edilmeden ayırt edilebilecektir. Bu tüm ürünün/yapının restore

edilmesinden ziyade sadece tahrip olmuş parçayı değiştirmek konusunda fayda sağlayacak, özellikle çalışmanın ahşap yapılara uygulanmasıyla gereksiz yere yapılan "komple restorasyon" masraflarını önlemeye yönelik alternatif bir tahribatsız test yöntemi geliştirilmiş olacaktır.

Ülkemizde tahribatsız muayene cihazı geliştiren firma bulunmamakta, bu aletler için yurt dışından elde edilen cihazlara büyük kaynaklar aktarılmak suretiyle sahip olunabilmektedir. Bu cihazın kullanımıyla mevcut yöntemlere yerli ve çok daha ekonomik alternatif bir yöntem geliştirilmiş olacaktır.

Proje düşük maliyetine rağmen başarılı sonuçlar alınmasıyla beraber ülke ekonomisine büyük katkılar yapabilecek düzeydedir. Gözle muayene ile yapılmış bir restorasyon için gereksiz yere binlerce lira harcanabilmekte ve tarihi yapıların orijinal dokusu bozulmaktadır. Bu çalışmadan beklenenler arasında tarihi değerlerimizin özgünlüğünün korunması ve gelecek nesillere aynı şekilde aktarılması da bulunmaktadır.

Kaynaklar

[1] Erdin, N. Ağaç malzeme kullanımı ve çevreye etkisi, İnterteks İnşaat 2003 Fuarı, Ahşap Seminerleri, İstanbul, 2003.

[2] Korkmaz M. Farklı İşlemler Uygulanmış Lamine Ahşap Pencere Profilinin Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Karabük, 2012.

[3] Mcrea, P., Floodman, D., Uludoğan N., ABD Konut İnşşat Sektörü – Sektör Profili, Amerikan Ahşap Yapı Ürünleri Sempozyum Notları, İstanbul, 2001.

[4] Yalınkılıç, M. K. Daldırma ve vakum yöntemleriyle sarıçam ve Doğu kayını odunlarının kreozot, imersol WR, tanalith-CBC ve tanalith CS kullanılarak emprenyesi ve emprenye edilen örneklerin yanma özellikleri. I. Ulusal Orman Ürünleri Endüstri Kongresi, Trabzon, 1992.

[5] Yalınkılıç, M. K. Ağaç Malzemenin Yanma, Higroskopisite ve Boyutsal Stabilite Özelliklerinde Çeşitli Emprenye Maddelerinin Neden Olduğu Değişiklikler ve bu Maddelerin Odundan Yıkanabilirlikleri, KTÜ Orman Fak., Orm. End. Müh. Böl., Doçentlik Tezi, 312 sh, Trabzon, 1993.

[6] Anonim, İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Tahribatsız Muayene Yöntemleri Basılmamış Ders Notları. İstanbul, 2004.

[7] Bodig, J., Jayne, B.A., Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold, 712 pp, New York,1982.

[8] Bucur, V., Nondestructive Characterization and Imaging of Wood (Springer Series in Wood Science). Springer, 354 pp, Berlin, 2003.

[9] Youngquist, J.A., Hamilton, T.E., The next century of wood products utilization: a call for reflection and innovation. Proc Int Conf on effective utilization of plantation timber, ChiTou, Taiwan. For Prod Assoc ROC Bull 16: pp 1 – 9. 1999.

[10] Anonim, Celal Bayar Üniversitesi Kimya Bölümü, Kondüksiyonla Isı Transferi Basılmamış Ders Notları, 10 Mart 2014 tarihinde www.bayar.edu.tr/besergil/e_makaleleri adresinden erişildi.

[11] Incropera, P. F. and Dewitt P.D. Isı ve kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık (4.Baskıdan Çeviri), s. 48-115, İstanbul, 2001.

[12] Kol, H., Altun, S., Effect of some chemicals on thermal conductivity of impregnated laminated veneer umbers bonded with poly(vinyl acetate) and melamineformaldehyde adhesives. Drying Technology, 27, 1010–1016, 2009.

[13] Panshin, A.J. and De Zeeuw, C. 1980. Textbook of Wood Technology. Mc Graw-Hill, Inc. Fourth Edition, New York.

[14] Dündar, T., Kurt, Ş., As, N., Uysal, B. Nondestructive Evaluation Of Wood Strength Using Thermal Conductivity, BioRes. 7(3), 3306-3316, 2012.

METALİK TOZ KAYMALI YATAKLARIN YENİ DİZAYN KAYMALI YATAK TEST DONANIMI İLE TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF TRIBOLOGICAL BEHAVIOURS OF METALLIC POWDER JOURNAL BEARING BY USING NEW DESIGNED JOURNAL BEARING TEST EQUIPMENT

Serkan ÖZÇELİK [a], Hayrettin DÜZCÜKOĞLU [b], Mehmet Turan DEMİRCİ [c]
[a, b] Selçuk Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Konya, Türkiye, E-posta: hayduzcuk@hotmail.com
[c] Selçuk Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği, Konya, Türkiye, E-posta: turandemirci@selcuk.edu.tr

Özet

Metal toz teknolojisi endüstriyel alanlarda sıklıkla kullanılmaktadır. Toz metalurjisi ile üretilen kaymalı yatakların malzemeleri genel itibariyle Cu, Fe, Sn tozlarıdır. Metalik tozların ana uygulama alanı fren diskleri, balata, kaymalı yatak, diferansiyel dişli, piston rod gibi otomotiv endüstrisidir. Bu alanda kullanılmasının başlıca nedeni kolay ve hızlı üretim ve minumum atık malzeme olmasıdır. Metallik tozlar üretilen parçaların tribolojik davranışlarının belirlenmesi için pin on disk gibi test cihazları kullanılmaktadır.Fakat bu donanımlar küçük ölçekli firmalar için oldukça maliyetlidir. Küçük ölçekli firmaların Ar-Ge yeterli kadar bütçe ayıramamaları da üretimini yaptıkları bu tip numunelerin denemelerine imkan tanımamktadır. Yeni tasarım kaymalı yatak test donanımı kolay üretim maliyeti ve ölçümü sağlamaktadır. Küçük ölçekli imalat firmaları minimum imkân ile kullanabileceklerdir. Yeni test donanımı oldukça pratik ve uygulanabilirdir. Bu donanım mesafe ölçümü için iki komparatör, imalat firmalarında bulunan üniversal torna, ağırlık çubuğu, kaymalı yatak kafesi, kaymalı yatak tutucu ve kaymalı yatak aşındırıcı parçasından oluşmaktadır.

Anahtar kelimeler: Metal tozlar, Kaymalı yataklar, Yeni kaymalı yatak test donanımı, Torna, Tribolojik davranışlar.

Abstract

Metal powder technology are commonly used many heavy running conditions in Industrial areas. These generally used powder materials are Cu, Fe, Sn powders. Metallic powder main application area is automotive industry such as brake disk, brake lining, journal bearings, differential gear, piston rod etc. Because, these are easy production, speed production and minimum waste materials.

To determine the tribological behaviours of metallic powder components, many method are used like pin on disk. However, to use the equipment, it has been need to be high cost. And so, small scale firms couldn't defray this cost to invest the Ar-Ge department. In addition, some tribological measurement equipment does not suffice the required measurement for metallic journal bearing according to changing application areas.

The new designed journal bearing equipment provides easy production cost and measurement. The small scale manufacturing firms can use their minimum opportunities. The new testing method is easy applicable. The new metallic journal bearing equipments contain two comparators to measure displacements of journal bearing, universal lathe that is the main manufacturing machine and is available machine for small scale firms, weight rods to contact and pressure the journal bearing through cage, journal bearing holder and journal bearing abrasive counter parts.

Keywords: Metal powder, Journal bearings, New journal bearing test equipment, Lathe, Tribological behaviors.

1. Giriş

Toz metalürjisi (T/M) çok küçük partikülleri birbirine bağlayarak parça haline getirme işlemidir. İnce partikül seklindeki saf metaller, alaşımlar, karbon, seramik ve plastik malzemeler birbirleriyle karıştırılarak basınç altında sekilendirilirler. Daha sonra bu parçalar ana bileşenin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenerek partiküllerinin temas yüzeyleri arasında kuvvetli bir bağ oluşturulur ve böylece istenilen özellikler elde edilir. T/M, çeşitli metal isleme teknolojileri arasında en farklı üretim tekniğidir. Yüksek kaliteli ve karmaşık parçaların ekonomik olarak üretilebilmesi, toz metalürjisini cazip kılmaktadır. T/M farklı boyut, sekil ve paketlenme özelliğine sahip metal tozlarını sağlam, hassas ve yüksek performanslı parçalara dönüştürür [1-6].

Nispeten düşük enerji tüketimine, yüksek malzeme kullanımına ve düşük maliyete sahip otomatikleşmiş işlemleri verimlice kullanır. Sahip olunan bu özellikler ile T/M verimlilik, enerji ve hammadde gibi günümüz kaygılarını ortadan kaldırır. Bunların sonucu olarak, T/M konusu sürekli gelişmekte ve geleneksel metal sekilendirme operasyonlarının yerini almaktadır. Günümüzde özellikle T/M otomotiv sanayinde kullanılmaktadır. Bunun sebebi kolay üretimi, üretim hızı, hurda azatlımı gibi avantajlarıdır. Dünyada Toz metal üretiminin % 70'lik bölümü bu sektörde değerlendirilir. Fren diski, balata, burçlar, diferansiyel dişlileri, biyel kolu gibi birçok otomobil parçaları T/M yöntemiyle yapılamaktadır.

Toz metalurjisi yöntemi ile en çok üretimi yapılan ve endüstride kullanım sahası bulan parçalar kaymalı yataklardır. Toz metalurjisi yöntemi ile kaymalı yatak üretiminin avantajlarından en önemli ikisi istenilen kompozit kompozisyonunun istenilen tribolijik özelliklere

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

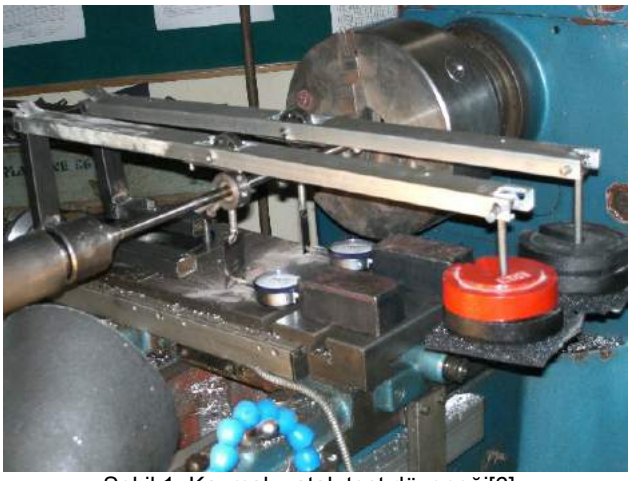
göre ayarlana bilmesi ve yağ emdirme işleminin yapılabilmesidir [1-6].

Kaymalı yataklarda tribolojik özelliklerin tespitinde pin-on-disk, kaymalı yatak aşınma test düzenekleri kullanılmaktadır [6]. Fakat bu tür test düzeneklerinin maliyetleri yüksek olduğundan ve çalışma ortamlarının çok hassas olmasından dolayı küçük ölçekli işletmelerde temini ve kullanımı zor olmaktadır.

Yapılan çalışmada amacımız, tasarlanan test düzeneği elde bulunan atölye ölçü aletleri imkanları ile toz metalürjisi yöntemi ile elde edilen kaymalı yatakların tribolojik özellikleri tespit etmektir.

2.Test Cihazının Tasarımı

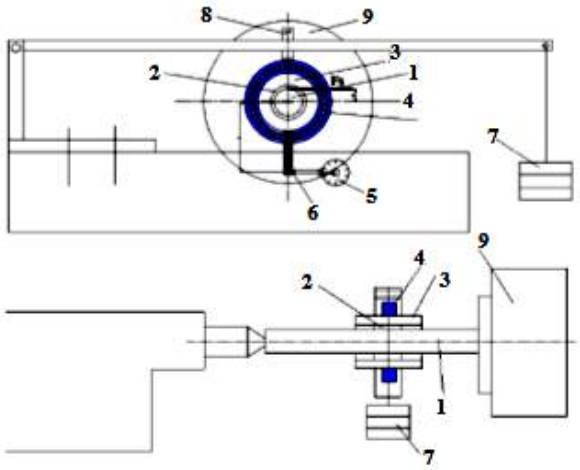
Bütün T/M parça üretim aşamalarından geçen numunelerin aşınma deneyleri özel olarak hazırlanmış aparatlar kullanılarak klasik üniversal torna tezgâhında statik yük altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de Üniversal torna tezgahından çevirme deney düzeneği görülmektedir. Bu tez Selçuk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi atölyelerinde yapılmıştır. Deneyde aşındırıcı olarak SAE 1050 çeliği kullanılmış ve yataklar bu mil üzerinde aşındırılarak değerler tespit edilmiştir. Milin bir ucu punta ile desteklenmiş ve mil üzerinde çalışan yatakların üzerine ise özel olarak hazırlanmış yatak tutucuları monte edilmiştir[6].



Şekil 1. Kaymalı yatak test düzeneği[6].

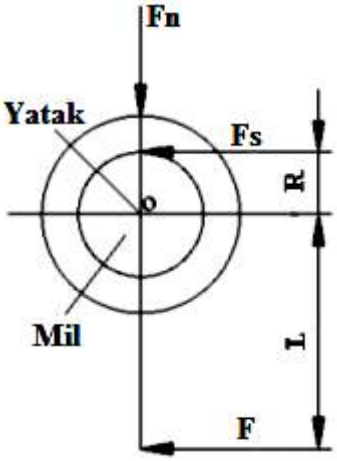
Kaymalı yataklarda genellikle yatak malzemesi, mil malzemesine göre daha düşük aşınma dayanımına sahip malzemelerden seçilir. Böylece milin aşınması büyük oranda azaltılmış olur. Bu nedenle kaymalı yatak aşınma cihazları, yatak malzemelerinin aşınmasını incelemek üzere tasarlanmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan kaymalı yatak aşınma cihazı ile yatak malzemelerinin aşınma davranışlarının incelenmesinin yanı sıra, kolaylıkla takılıp sökülebilen ve milin sadece kaymalı yatak içinde çalışan kısmından oluşan numune kullanılarak, milin aşınma davranışlarını incelemek de mümkün olmuştur. Böylece farklı yatak malzemesi geliştirebilmenin yanında mil malzemesi ve bunlara yapılacak işlemlerin de aşınmaya etkisi incelenebilmiştir[6].

Test düzeneğinde aynı zamanda sürtünme kuvveti de bulunabilmektedir. Bu aşınma test cihazı; kaymalı yatak üzerine rijit bir çubukla basılı bir ağırlık ve belirli bir mesafeden yatağa baglı bir çubuk ve komparatörden ibarettir. Yatağın dönme yönünde oluşan sürtünme kuvveti ve buna bağlı çubuğun oluşturduğu yer değiştirmenin ölçülmesiyle sürtünme katsayısı belirlenir (Şekil 1).



Şekil 2. Kaymalı yatak aşınma test cihazının şematik görünümü (1. Aşındırıcı mil, 2. Kaymalı yatak numunesi, 3. Kaymalı yatak tutucu, 4. Yük temas noktası (rulman), 5. Komparatör, 6. Plaka, 7. Ağırlık, 8. Yük Pimi, 9.Torna aynası)

Kuru ortamda yapılan deneylerde, komparatörün yay katsayısı düşük olduğundan sürtünme kuvvetinin etkisi ile komparatör katranının aşırı hareketlilik oluşmaktadır. Bu nedenle komparatörün uç tarafına k=0.98N/mm bası yayı bağlanmıştır. Sürtünme kuvvetinin etkisiyle yeterli miktarda oluşan deplasmanlar bu yolla ölçülmüştür. Ayrıca bağlanan numunenin kaymasını önlemek, istenen sürtünmeyi sağlaması için kaymalı yatak tutucusu üzerine, yük temas noktasında bir rulman kullanılmıştır. Sürtünme kuvveti ve yüklerin oluşumu Şekil 3'de gösterilmiştir [6].



Şekil 3. Kaymalı yatakta sürtünme kuvvetinin oluşumu

$$Fs = F.L \quad (1)$$

burada Fs sürtünme kuvveti, F basma kuvveti, L ise komperatör mesafesi

$$F = k.x \quad (2)$$

k yay rijitlik katsayısı, x komperatör sapma miktarıdır. 2 numaralı denklemi 1numaralı denklemde yerine yerleştirildiğinde;

$$Fs = k.x.L \quad (3)$$

Denklemi elde edilir. Fs sürtünme kuvveti;

$$Fs = FN.\mu \quad (4)$$

FN uygulanan yük, μsürtünme katsayısıdır. 4 numaralı denklemi 3 numaralı denklemin yerine konulduğunda sürtünme katsayısı komperatörün sapma miktarına bağlı olarak bulunmaktadır [6].

3. Sonuçlar

Dizayn edilen kaymalı yatak test cihazı kaymalı yatakların tribiolojik özelliklerinin belirlenmesinde pratik çözümler ortaya koymuştur. Tamamen atölye imkanları kullanılarak sürtünme kuvveti değerleri ve sürtünme katsayısı değerleri elde edilmiştir. Dolayısıyla sistem anlık pratik çözümler ortaya koymaktadır. Sürücü olarak üniversal tornanın kullanılması ve torna üzerine monte edilen test aparatları ile sonuca ulaşılmıştır. Çalışmada dikkat edilmesi gereken hususların başında aparatların hassas işlenmesi, torna tezgahı üzerine hassas bir şekilde monte edilmesidir. Komparatörlerin yerleştirilmesi k değerinin 0.98 N/mm olarak ayarlanması önem arz etmektedir.

Kaynaklar

[1] http://www.turktoz.gazi.edu.tr/ttmd_tr.htm, TMD, Türk Toz Metalurjisi Dernegi.
[2] http://www.sinter-metal.com, Sinter Metal Technologies.
[3] Varol, R., Cu ve Fe Esaslı T/M Yatak malzemelerinin Asınma Özellikleri, D.E.Ü. Müh. Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, vol. 3, no. 1, pp. 81-90, 2001.
[4] Ünlü, B., Yılmaz, S., Varol, R. 2001. T/M Yatak malzemelerinin aşınma ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması, Makina Teknolojileri Elektronik Dergisi, vol.2, pp. 31-37. 2005.
[5] Kurt, A., Toz metal bronz yatak malzemelerinin özellikleri, Y.Lisans Tezi, G.Ü.F.B.E., Ankara, 1992.
[6] Özçelik S., Cu ve Fe esaslı T/M yatak malzemelerinin aşınma özelliklerinin deneysel incelenmesi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 2007.

CRASHWORTHINESS INVESTIGATION OF METALLIC THIN-WALLED TUBES UNDER AXIAL IMPACT LOADING

Cengiz BAYKASOGLU [a] , Merve Tunay CETIN [b] , Ozlem YALCIN [c]
[a, b, c,] Hitit University, Department of Mechanical Engineering, Corum, Turkey,
E-mail: cengizbaykasoglu@hitit.edu.tr; mervetunaycetin@hitit.edu.tr; ozlemyalcin8@gmail.com.tr

Abstract

In this study, the crush behavior of different aluminum and steel based thin-walled structures with square and circular cross sections, different semi-apical angles and thicknesses are investigated and compared under axial impact loading. In order to investigate crush behavior of these structures, impact with a fixed rigid wall is simulated by using commercial dynamic/explicit finite element (FE) code, Abaqus. The elastic-plastic material models are used and the effect of strain rate is included in the FE model by using the Cowper-Symonds overstress power law. The FE model is validated with the previously established solutions in literature. The maximum and mean crush forces, crush force efficiency (CFE), total absorbed energy (E_{total}), specific energy absorption (SEA) and deformation modes are computed to compare the crashworthiness performance of the thin-walled structures.

Keywords: Crashworthiness, thin-walled structures, axial crushing, energy absorption, finite element method

1. Introduction

Design engineers have been developing new active and passive vehicle safety systems to minimize injuries and loss of life when an accident occurs. Among them, thin-walled structures are mostly used in passive vehicle safety systems as crash energy absorber elements. These elements transform kinetic energy into internal energy via plastic deformations of structure [1]. Fig. 1 demonstrates examples of the metallic shells as energy absorber elements in front of trains and in longitudinal frames of automobiles [2].

The crashworthiness investigations of various metallic thin-walled structures have been widely studied in literature [1-20]. Among them, square and circular cross sectional, straight and tapered thin-walled structures are mainly considered as energy absorbing elements. All tube sidewalls are parallel to the longitudinal axis of the column in the straight thin-walled structures while one or more sides of the tube are oblique to the longitudinal axis in the tapered thin- walled structures [1, 3-6]. The tapered energy absorbers are preferred to the straight thin-walled structures since they decrease the possibility of global buckling which decreases the energy absorption capacity of the structure and are capable of withstanding both axial and oblique loads [7-9]. The studies on tapered energy absorbers are limited compared to the studies related to straight tubes [1-12]. Relevant works about crashworthiness investigation of thin-walled structures in literature are summarized as follows. Guler et al. [1] examined the crush behavior of steel based thin-walled straight and conical shell structures under axial impact loading by using finite element (FE) method. Ghamariani and Zarei [10] studied the crush performance of the end-capped cylindirical and conical tubes. Karbhari and Chaoling [4] investigated energy absorbing characteristics and crush mechanism with various parameters such as type of material, frustra geometry and angle of loading. The energy absorption characteristics of straight and tapered rectangular tubes are studied under impact loading by Nagel and Thambiratnam [7]. Energy absorbing elements have various wall thicknesses and tapered angles which are modeled as tubes with one, two, three and four tapered sides in [7]. Singace et al. [11] studied cylinders and frusta structures under higher Euler buckling load with the same weight and volume. Mamalis and Johnson [12] investigated truncated circular cones and thin-walled circular aluminum alloy under axial static loading.

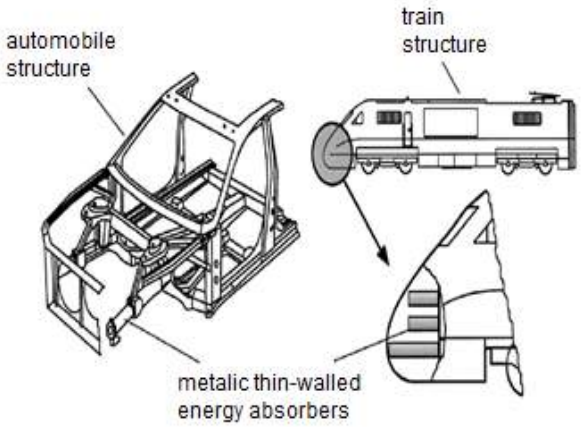


Fig. 1 Metallic shells as energy absorbers in train and automobile structures [2]

Even though the quantity of the absorbed energy is the most important parameter for an energy absorber, the amount of the crush forces is also essential [1]. The purpose of an energy absorber is to continue low crush forces conversely reaching high energy levels. When the crush force is high, the force transmit to the passengers and vehicle components will be high [7]. There is a limit for the safety of both crashworthiness of the vehicle components and the passengers. In order to obtain that, the initial peak crush force should be decreased as much as possible. For this reason, researchers use a tapered shape in axial direction since it absorbs large amount of energy and reduces the first peak load. Moreover various design strategies were demonstrated in the literature to decrease the initial peak crush force [15-19]. The specific energy absorption (SEA) is another crucial parameter in the designing of the crush elements which is defined as the energy absorption per unit mass. If the weight of the structure is an important parameter, the energy absorber

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

should be researched with respect to its weight efficiency and SEA value ought to be checked [20].

The aim of this study is to investigate the effects of different geometrical parameters (such as wall thickness, semi-apical angle, cross section geometry and material), on energy absorption characteristics of thin-walled structures. To this aim, an explicit-dynamic FE method is used. The FE model is validated with the previously established solutions in the literature. CFE and SEA, the maximum and mean crush forces, deformation modes and total absorbed energy (E_{total}) values are calculated for each energy absorber design.

2. FE models

The crush simulations have been performed using nonlinear explicit FE code, Abaqus [21]. The FE crush models consist of a thin-walled specimen, a moving and a fixed rigid plate. Fig. 2 shows the components of the FE model. Specific mass (*m*) and axial velocity (*v*) are assigned to the moving rigid plate to simulate the mass and velocity of the crashing body. 120 kg mass and 15 m/s velocity are used for the steel based thin-walled energy absorber, while 120 kg mass and 12 m/s velocity are used for the aluminum based thin-walled energy absorber. It is assumed that, there is no initial imperfection in the thin-walled structures.

The models of the straight and tapered thin-walled energy absorbers are developed using four nodes quadrilateral reduced integration shell elements (S4R), which are suitable for large strain analyses. To obtain the best balanced accuracy and efficiency for numerical simulations, a standard convergence test is applied. After convergence, an element size of 1.5 mm is found to produce suitable results.

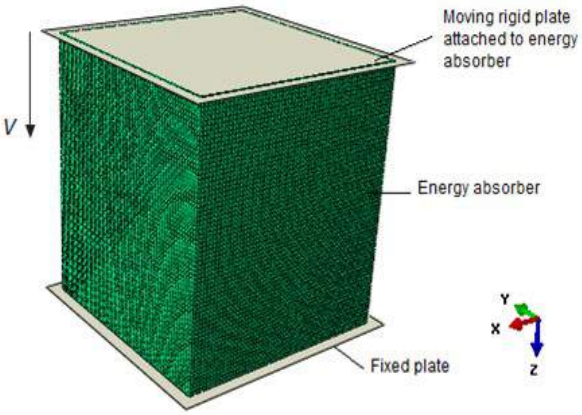


Fig.2 Mesh and loading arrangement used in the FE models

The mesh of FE models is uniform along the absorber axis as shown in Fig. 2. The length of the straight and tapered tubes is selected to be 200 mm. Surface- to- surface and self-contact algorithms are used to define interactions between the moving rigid plate and the energy absorber, and for the self-contacts of the energy absorber. A friction coefficient (μ) of 0.3 is considered for both surface- to-surface and self-contacts. The elastic-plastic material models are used for steel (St32, E=210000 MPa, σ_y=235 MPa) and aluminum (AlMgSi0.5, E=75230 MPa, σ_y=200 MPa). Table 1 shows the stress-strain data points used for steel and aluminum in the FE models, which are obtained from quasi-static and dynamic tension tests [2].

The effect of strain rate on the steel based thin-walled energy absorber is included in the FE model by using the Cowper-Symonds overstress power law given [21].

$$\dot{\bar{\varepsilon}}^{pl} = D(R-1)^n \text{ for } \bar{\sigma} \geq \sigma^0 \qquad (1)$$

where $\dot{\bar{\varepsilon}}^{pl}$ is the inelastic strain rate, *R* is the ratio of the dynamic flow stress ($\bar{\sigma}$) to the static flow stress (σ^0), *D* and *n* are material strain rate parameters. The strain rate parameters, D and n, in Eq. 1, are taken to be 3000 s^{-1} and 4, respectively. These values are taken from the previous study for the dynamic axial crushing of St35 cylindrical shell [2]. On the other hand, the strain rate dependency for the given aluminum material is not taken into account since it is negligible [2].

In analysis, two different types of cross-section geometries, namely square and circular, are used to compare the crashworthiness performance of both steel and aluminum-based thin-walled energy absorbers. In addition, four different wall thicknesses, namely 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm and 2 mm; and six different semi-apical angles, namely 0°, 2.5 º, 5 º, 7.5 º, 10 º and 12.5 º are also considered for each of the thin-walled energy absorbers. The diameter of the circular cross section (d) and the width of the square cross section (w) are taken to be 180 mm. On the other hand, the identical axial length of 200 mm is used for all energy absorbers. Fig. 3 shows the geometries of the square and circular energy absorber structures.

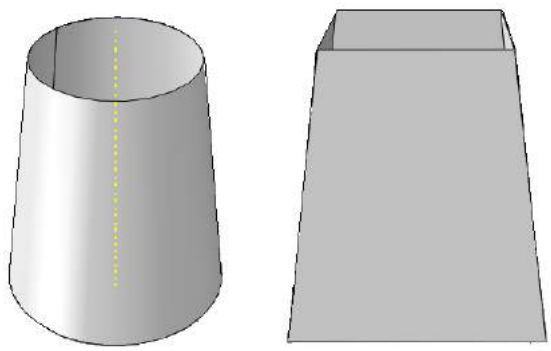


Fig. 3 The circular and square energy absorber structures

3. Results and Discussion

The parameters necessary for characterization of crashworthiness performance of energy absorbers can be described as follows:

- Maximum crush force which is generally defined as peak force, F_{max}
- The post-crush displacement, δ is displacement of crushed structure in load-displacement curve
- Total absorbed energy which is referred to the area under the load-displacement curve,

$$E_{total} = \int_0^{\delta_{max}} F \, d\,\delta \qquad (2)$$

- Mean crush force which is obtained by following equation,

$$F_{mean} = \frac{E_{total}}{\delta_{max}} \qquad (3)$$

- Crush force efficiency (CFE), which is the ratio of the mean crush force, F_{mean} to the maximum crush force, F_{max},

$$CFE = \frac{F_{mean}}{F_{max}} \qquad (4)$$

- Specific energy absorption (SEA) which is defined as the total absorbed crash energy per unit of the crushed structure mass (m)

- $$SEA = \frac{E_{total}}{m} \qquad (5)$$

Table 1. The stress-strain data points used for steel and aluminum in the FE models [2]

Steel	σ [MPa]	200	206.154	215.385	218.462	228.718	230.769	235.897	235.897
	ε_{pl}	0	0.0049	0.0112	0.0175	0.0305	0.0426	0.0556	0.0664
Aluminum	σ [MPa]	235	251.020	283.673	304.082	325.510	333.673	339.796	340.816
	ε_{pl}	0	0.0346	0.0494	0.0697	0.0998	0.1304	0.1641	0.1862

Crush force-displacement and absorbed energy-displacement curves are obtained from performed the crash simulations in Abaqus/Explicit. Then, the mean crush force, CFE and SEA values are calculated by using Equations 2-5 for a 90 mm deformation length. CFE and SEA values are obtained for square and circular energy absorbers for each wall thickness and semi-apical angle.
In order to verify the proposed FE model, a straight model executed with the same material, geometry, boundary conditions and impact velocity as given in the Nagel and Thambiratman [7] and Guler et al. [1]. Table 2 shows the maximum crush force, mean crush force and energy absorption (at a deformation length of 200 mm) values of the straight model. As seen in Table 2, the presented results are in good agreement with [7] and [1].

Table 2. Maximum crush force, mean crush force and energy absorption values of the straight model

	F_{max} [kN]	F_{mean} [kN]	E [kJ]
Nagel and Thambiratman [7]	200	45.5	9.1
Guler et al. [1]	204	48	9.6
Present	197	48.5	9.7

Fig. 4 shows the comparison of the CFE with semi-apical angle values for different wall thicknesses and shapes for aluminum. As seen from Fig. 4, square model is more efficient at 12.5° semi-apical angle while the circular model is more efficient at 10° semi-apical angle for 0.5 mm wall thickness. On the other hand, the circular model is more efficient at 7.5° semi-apical angle whereas the square model is more efficient at 12.5° semi-apical angle for 1.25 mm wall thickness. Both circular and square models have the highest CFE values in all cases for 1.5 mm wall thickness. In addition, the most efficient energy absorber is the circular cross-sectional absorber with 1.5 mm wall thickness and 10° semi-apical angle as seen from Fig. 4.

According to Fig. 5, the circular energy absorber is more efficient than the square energy absorber for all wall thickness values. For both 1 mm and 1.5 mm wall thickness values, the square model is more efficient than the circular model at 12.5° semi-apical angle. Moreover the circular model has higher CFE than the square model for all semi-apical angles for 1.25 mm wall thickness. Fig. 5 also shows that the circular absorber is the most efficient one with 1.5 mm wall thickness and 10° semi-apical angle. It can be concluded from these graphs that conical absorbers are generally more efficient than the straight ones for both square and circular cross-sectional geometries.

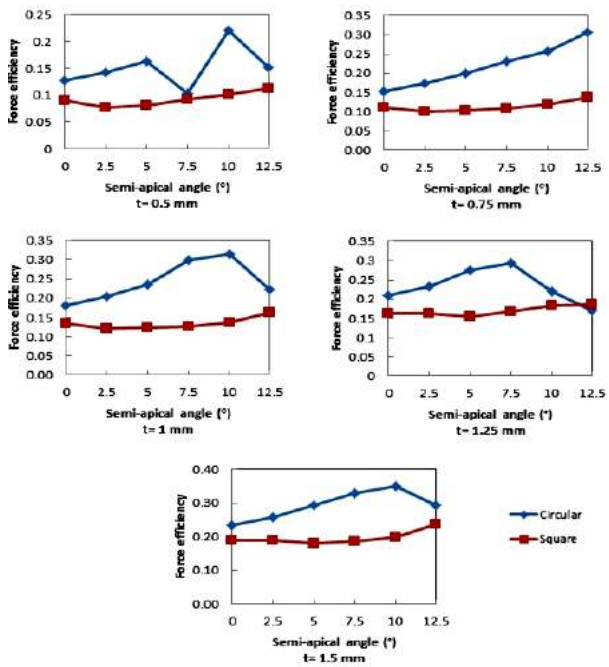


Fig. 4 Comparison of CFE with semi-apical angle values for different wall thicknesses and shapes of aluminum

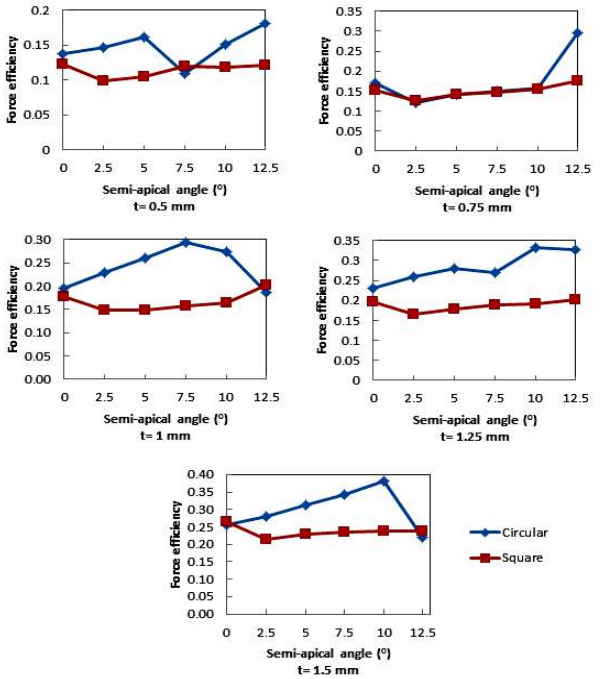


Fig. 5 Comparison of the CFE with semi-apical angle values for different wall thicknesses and shapes of steel

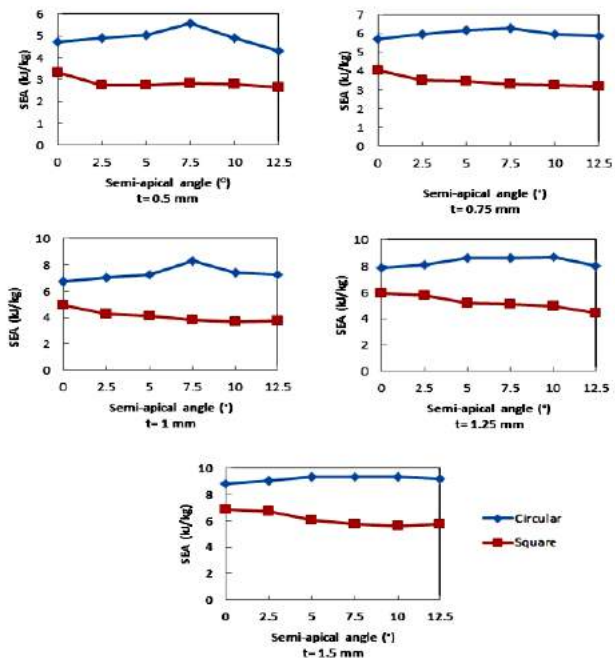


Fig. 6 Comparison of the SEA with semi-apical angle values for different wall thicknesses and different cross-section geometries of aluminum

In addition to CFE, there is another important parameter which is called SEA. The SEA values of aluminum are obtained for both square and circular cross-sectional geometries and various wall thicknesses as seen from Fig. 6. According to Fig. 6 circular energy absorber is more efficient than the square absorber for all wall thickness values. For all semi-apical angle values, both square and circular absorbers with 1.5 mm wall thicknesses have the highest SEA values.

Fig. 7 shows the SEA- semi-apical angle values of steel with various wall thickness values and two different cross-section geometries. The highest SEA value for circular energy absorber occurs at 7.5° semi-apical angle and 1.5 mm wall thickness value. On the other hand, for all semi-apical angle values the circular model is more efficient than the square model except for the one with 1.5 mm wall thickness.

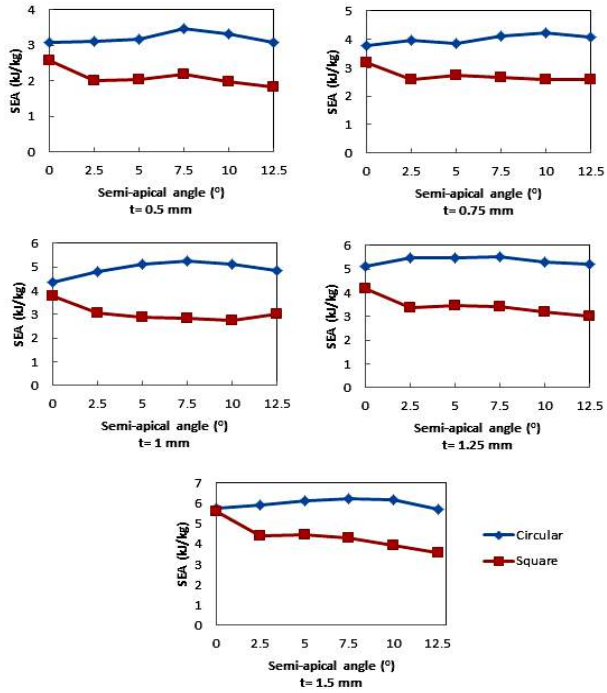


Fig. 7 Comparison of the SEA with semi-apical angle values for different wall thicknesses and different cross-section geometries of steel

5. Conclusions

In this study, the crush behavior of different aluminum and steel based thin-walled structures with square and circular cross-sections, different semi-apical angles and thicknesses were examined numerically and compared with each other. For this purpose, 60 specimens with different wall thicknesses and semi-apical angles are used. The following conclusions can be derived from the analyses:

- When the wall thickness of absorber increase, the absorbed energy also increases for all models.
- As the absorbed energy increases, the crush force also increases for all models.
- Both steel and aluminum based energy absorber models are crushed progressively in all cases.
- For aluminum model, the highest values are observed with 1.5 mm thickness and 10° semi-apical angle in both CFE and SEA graphs.
- According to CFE graph, the highest value is observed with 1.5 mm thickness and 10° semi-apical angle while in SEA graph, the highest value is

observed with1.5 mm thickness and 7.5° semi-apical angle for steel model.

In future, we plan to study observed with crush behavior of composite based thin-walled structures with different cross sections, semi-apical angles and thicknesses to reduce the weight of the energy absorber. The results presented in this paper could be useful for a better understanding of the crush behavior of metallic thin-walled structures and potentially beneficial for designers of these structures.

References

[1] Guler, M. A.,Cerit, M. E., Bayram, B.,Gerçeker, B. and Karakaya, E., The effect of geometrical parameters on the energy absorption characteristics of thin-walled structures under axial impact loading, International Journal of Crashworthiness, vol. 15, no. 4, August 2010, 377-390.

[2] Marsolek, J. and Reimerdes, H.-G., Energy absorption of metallic cylindrical shells with induced non-axisymmetric folding patterns, International Journal of Impact Engineering, vol. 30, 1209-1223, 2004.

[3] Hsu, S.S. and Jones, N. , Quasi-static and dynamic axial crushing of thin-walled circular stainless steel, mild steel and aluminum alloy tubes, International Journal of Crashworthiness, vol.9, 377-390, 2004.

[4] Karbhari, V.M. and Chaoling, X., Energy absorbing characteristics of circular frusta, International Journal of Crashworthiness, vol. 8, 471-479, 2003.

[5] Langseth, M. and Hopperstad, O.S., Static and dynamic axial crushing of square thin-walled aluminum extrusions, International Journal of Impact Engineering, vol. 18, 949-968, 1996.

[6] Jin, S.Y. and Altenhof, W., Comparison of the load/displacement and energy absorption performance of round and square AA6061-T6 extrusions under a cutting deformation mode, International Journal of Crashworthiness, vol. 12, 265-278, 2007.

[7] Nagel, G.M. and Thambiratnam, D.P., Dynamic simulation and energy absorption of tapered tubes under impact loading, Int. J. Crashworthiness, vol. 9, 389-399, 2004.

[8] Reid, S.R. and Reddy, T.Y., Static and dynamic crushing of tapered sheet metal tubes of rectangular cross-section, Int. J. Mech. Sci., vol. 28, 633-637, 1986.

[9] Gupta, N.K., Easvara Prassad, G.L. and Gupta, S.K., Plastic collapse of metallic conical frusta of large semi-apical angles, Int. J. Crashworthiness, vol. 2, 349-366, 1997.

[10] Ghamariani, A. and Zarei H., Crashworthiness investigation of conical and cylindrical end-capped tubes under quasi-static crash loading, International Journal of Crashworthiness, vol.17-1, 19-28, 2012.

[11] Singace, A.A.,El-Sobky, H. and Pesios, M., Influence of and constraints on the collapse of axially impacted frusta, Thin-walled structure, vol. 39, 415-428, 2001.

[12] Mamalis, A.G. and Johnson, W., The quasi-static crumpling of thin-walled circular cylinders and frusta under axial compression, Int. J. MEch. Sci., vol. 25, 713-732, 1983.

[13] Ahmad, Z. and Thambiratnam, D.P., Dynamic computer simulation and energy absorption of foam-filled conical tubes under axial impact loading, Comput. Struct., vol. 87, 186-197, 2009.

[14] Singace, A.A. and El-Sobky, H., Behavior of axially crushed corrugated tubes, Int. J. Mech. Sci., vol. 39, 249-268, 1997.

[15] Cerit, M.E., Güler, M.A., Bayram, B., Gerçeker, B. and Karakaya, E., Farklı kesitli ezilme kutularının enerji yutma kapasitelerinin karşılaştırılması, Proceeding of the Sixteenth National Conference on Mechanics, Kayseri, Turkey, 22-26 June.

[16] Lee, S., Hahn, C., Rhee, M. and Oh, J., Effect of triggering on the energy absorption capacity of axially compressed aluminum tubes, Mater. Des., vol. 20, 31-40, 1999.

[17] Elgalai, A.M., Mahdi, E., Hannoud, A.M.S. and Sahari, B.S., Crushing response of composite corrugated tubes to quasi-static axial loading, Compos. Struct., vol.66, 665-671, 2004.

[18] Hosseinipour, S.J. and Daneshi, G.H., Energy absorption and mean crushing load of thin-walled grooved tubes under axial compression, Thin-Walled Struct., vol. 41, 31-46, 2003.

[19] Arnold, B. and Altenhof, W., Experimental observations on the crush characteristics of AA6061 T4 and T6 structural square tubes with and without circular discontinuities, Int. J. Crashworthiness, vol. 9, 73-87, 2004.

[20] Liu, Y., Design optimization of tapered thin-walled square tubes, Int. J. Crashworthiness, vol. 13, 543-550, 2008.

[21] Dassault Systems Inc., Abaqus User's Manual, Dausault Systems Inc., Lowell, Massachusetts, USA.

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYAMİD 6.6 NIN ENJEKSİYON PROSESİNİN SONLU ELEMAN ANALİZİ

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF GLASS FIBRE REINFORCED POLYAMIDE 6.6 INJECTION PROCESS

G. Başar KOCABAŞ [a] ve M. Emin ERDİN [b]
[a] Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum, Türkiye, E-posta: gazibasar@gmail.com
[b] Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye, E-posta: eminerdin@hitit.edu.tr

Özet

Otomotiv, inşaat, mekanik tesisat ve kimya gibi pek çok sektörde yaygın olarak kullanılan plastiklerin sanayideki kullanım oranları her geçen gün artış göstermektedir. Plastiklerin ürüne dönüştürülmesinde kullanılan yöntemlerin başında gelen plastik enjeksiyon kalıplama ile bir parçanın imalatı; plastikleştirme, kalıp kapatma, kalıp doldurma, ütüleme, tutma, soğutma ve kalıptan çıkarma aşamalarından oluşmaktadır. Bu işlemlerin analizi plastik enjeksiyon kalıplama işleminin verimini ve ürünlerin kalitesini arttırmaktadır. Bu çalışmada otomotiv sanayiinde kullanılan bir ara soğutma (intercooler) sistemine ait cam elyaf takviyeli polyamid (PA) 6.6 malzemeli bir kazanın plastik enjeksiyon kalıplama ile imalatının simülasyon yolu ile analizi hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle plastik enjeksiyon kalıplama işlemine ait parametreler belirlenmiş; yolluk konum ve geometrisi ile enjeksiyon süresine bağlı olarak enjeksiyon sonrası parçadaki basınç dağılımı, ısıl artış, çevrim süresi ve kayma gerilme değerleri incelenmiştir. Sözkonusu parça üç boyutlu (3B) katı modelleme ile elde edilmiş ve buna uygun kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Modelleme ve enjeksiyon analizlerinin yapılması için SolidWorks 2013 ticari paket programı ve Plastics Premium modülü kullanılmıştır. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ile uygun enjeksiyon şartlarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: plastik enjeksiyon, polyamid 6.6, cam elyaf takviyeli kompozit, kalıp akış analizi

Abstract

Usage of plastics which are commonly used in many industries such as automotive, construction, mechanical installation and chemistry increases day by day. Plastic injection molding is the primary method in making products from plastics. Manufacturing of a part with plastic injection molding consists of plasticization, mold closure, mold filling, ironing, holding, cooling and rejection stages. Analysis of these processes enhances the efficiency of plastic injection molding and quality of the obtained products. In this study, it is intended to analyze the manufacturing of an intercooler system boiler made from glass fiber reinforced polyamide (PA) 6.6 with plastic injection molding. For this purpose, parameters of plastic injection molding process are determined at first. Pressure distribution of the part after filling, thermal increase, cycle time and shear stress values are investigated depending on feeder position, feeder geometry and injection interval. Mentioned part is obtained with three dimensional (3D) solid modeling and mold design is done according to this model. SolidWorks 2013 commercial packaged software and its Plastics Premium module are used in modeling and injection analyses. It is intended to determine the appropriate injection conditions with the evaluation of analysis results.

Keywords: plastic injection, polyamide 6.6, glass fiber reinforced composite, mold flow analysis

1. Giriş

Plastik enjeksiyon yöntemiyle kalıplama işlemi her geçen gün daha yaygın hale gelmekte ve buna bağlı olarak enjeksiyon malzemesinin kimyasal yapısı ve mekanik özellikleri, uygulanan ısıl işlemler, yolluk türü, konumu ve geometrisinin belirlenmesi ve kalıp boyutlandırma gibi konularda yapılan çalışmalar da artarak devam etmektedir. Plastik enjeksiyon kalıplamada optimal işlem parametrelerinin belirlenmesi üretim hızı, ürün kalitesi ve maliyet açısından son derece önemlidir [1]. Enjeksiyon malzemesi ve basıncı, yolluk konumu ve geometrisi, tutma süresi ve kalıp sıcaklığı gibi giriş parametrelerine bağlı olarak malzemenin kalıbı doldurma süresi, enjeksiyon sonrası basınç dağılımı, sıcaklık artışı, kayma gerilmesi, kayma oranı, hacimsel çekme, donmuş tabaka kalınlığı ve çökme noktaları gibi çıkış parametrelerinin optimizasyonu ürün kalitesinin iyileştirilmesinde kritik öneme sahiptir.

Selmi vd. [2] kısa cam fiber takviyeli polyamidlerin iki eksenli akma, pekleşme ve akış simülasyonlarını gerçekleştirmişlerdir. Apichartpattanasiri vd. [3] çalışmalarında PA 6.6'nın enjeksiyon işleminde kalıp sıcaklığının akış ve yüzey kalitesi üzerindeki etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Kuram vd. [4] enjeksiyon parametrelerinin cam fiber takviyeli PA 6'nın mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini Taguchi metodunu kullanarak araştırmışlardır. Chen vd. [5] ince kabuk yapılı plastik parçaların enjeksiyon kalıplama işlem parametrelerini simülasyon ve deneysel çalışmalar yoluyla belirlemişlerdir. Wang vd. [6] plastik enjeksiyon kalıplama işlem parametrelerinin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Seow ve Lam [7] çalışmalarında Fortran kodu kullanarak plastik enjeksiyon işleminde akış optimizasyonu yapmak için uygun kalınlığı belirleyecek bir yöntem geliştirmişlerdir. Teixeira vd. [8] uzun cam fiber takviyeli PA 6.6'nın mikroyapısı ve mekanik özellikleri üzerinde kontrollü akış kısıtlamalarının etkilerini incelemişlerdir. Gerber vd. [9] plastik enjeksiyon kalıplamada erime sıcaklığı kontrolü için bilgisayarlı

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

akışkanlar dinamiği analizleri gerçekleştirmişlerdir. Santos vd. [10] fiber yüzdesinin, boyutunun ve malzemeye uygulanan işlemlerin enjeksiyon kalıplama ile imal edilmiş PA 6 kompozitlerin çekme, eğilme ve darbe dayanımları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Özçelik ve Erzurumlu [11] ince kabuk yapılı plastik parçaların çarpılma davranışını sonlu eleman, yapay sinir ağı ve genetik algoritma yöntemlerini kullanarak karşılaştırmışlardır. Chen vd. [1] plastik enjeksiyon kalıplamada işlem parametrelerinin optimizasyonunda Taguchi metodu ile sinir ağları ve genetik algoritmaları birleştiren bir esnek hesaplama yöntemi kullanmışlardır. Song vd. [12] ultra ince cidarlı plastik parçaların kalıplanmasında enjeksiyon işlem parametrelerinin etkilerini araştırmışlardır. Tang vd. [13] bir plastik enjeksiyon kalıbının tasarımı ve ısıl analizini gerçekleştirdikleri çalışmalarında ısıl artık gerilmelerin parça çarpılması üzerindeki etkilerini dikkate almışlardır. Kurt vd. [14] deneysel çalışmalarında plastik enjeksiyon kalıplamada kavitasyon basıncı ve kalıp sıcaklığının ürün kalitesi üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yang ve Yokoi [15] çalışmalarında plastik sandviç enjeksiyon kalıplamada malzeme akışının dinamik görsel analizini yüksek basınca dayanıklı bir cam kalıp kullanarak gerçekleştirmiş, bu sayede ergimiş malzemenin farklı enjeksiyon hız ve sıcaklıklarındaki akış davranışını incelemişlerdir. Öktem vd. [16] ince kabuk yapılı bir parçanın plastik enjeksiyon kalıplama işlem parametrelerini belirledikleri çalışmalarında Taguchi optimizasyon tekniğinden faydalanmışlardır.

Bu çalışmada, otomotiv sanayiinde kullanılan bir ara soğutma sistemine ait cam elyaf takviyeli PA 6.6 malzemeli bir kazanın plastik enjeksiyon kalıplama ile imalatının simülasyon yolu ile analizi gerçekleştirilerek optimum yolluk konum ve geometrisinin belirlenmesi ve enjeksiyon süresine bağlı olarak enjeksiyon sonrası basınç dağılımı, ısıl artış, kayma gerilmesi ve toplam enjeksiyon çevrim süresi değerlerinin değişimi incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Bir plastik enjeksiyon çevrimi; plastikleştirme, kalıp kapatma, kalıp doldurma, ütüleme, tutma, soğutma ve kalıptan çıkarma aşamalarından oluşan oldukça karmaşık bir süreçtir. Bu süreçte kalıp doldurma aşaması ergimiş plastiğin kalıp boşluğuna enjeksiyonunu ifade etmektedir. Kalıp doldurma, plastik enjeksiyon çevriminin diğer aşamalarını da etkiler. Bu nedenle plastik enjeksiyon işleminin analizinde üzerinde en çok durulan konudur. Bu bölümde modelleme için kullanılan malzeme ve yöntem açıklanacaktır.

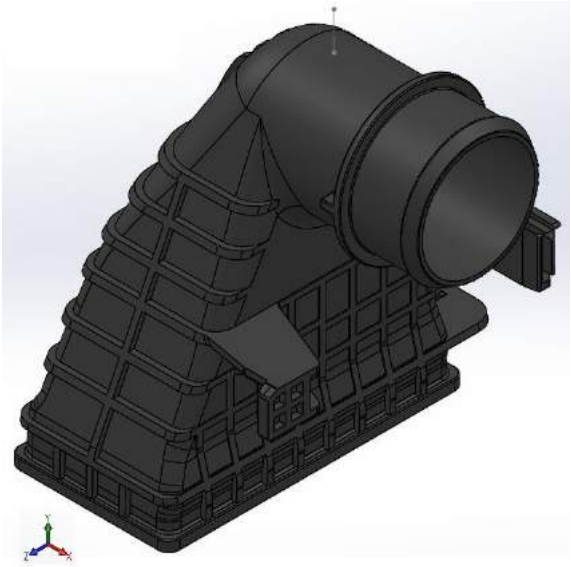
Enjeksiyon işleminde cam elyaf takviyeli PA 6.6 kullanılmış olup malzeme özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

3B katı modelleme yöntemi ile elde edilen kazan modeli kullanılarak tasarlanan kalıplar ile plastik enjeksiyon işleminin sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Parçanın tasarımı için Solidworks 3B CAD yazılımı, plastik enjeksiyon akış analizi için Solidworks Plastics Premium analiz modülü kullanılmıştır. Şekil 1'de kazanın 3B katı modeli görülmektedir.

Sonlu eleman analizlerinde elde edilen sonuçların doğruluğunda kullanılan eleman tipi ve sayısı çok önemlidir. Ancak eleman sayısının çok yüksek olması işlemci sürelerini önemli ölçüde arttırmaktadır. Bu nedenle öncelikle sonuçların gerçek değere yakınsadığı eleman sayısının belirlenmesi için analiz işlemleri eleman sayısı kademeli olarak arttırılarak tekrarlanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 4 mm eleman boyutunun yeterli hassaslıkta sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Model geometrik olarak karmaşık yapıda olduğu ve keskin kenarlar içerdiği için yerel olarak eleman boyutu küçültülmüştür. Sonuç olarak model 99290 adet üçgen kabuk sonlu elemana bölünmüştür. Şekil 2'de kazanın nihai sonlu eleman modeli görülmektedir.

Tablo 1. PA 6.6 özellikleri [17].

Ticari İsmi: BASF / Ultramid A3WG6	
Yoğunluğu	1,36 gr/cm^3
Fiber Yüzdesi	% 30
Maksimum Erime Sıcaklığı	317 ^{o}C
Minimum Erime Sıcaklığı	270 ^{o}C
Maksimum Kalıp Sıcaklığı	90 ^{o}C
Minimum Kalıp Sıcaklığı	70 ^{o}C
Çıkartma Sıcaklığı	255 ^{o}C
Camsı Geçiş Sıcaklığı	267 ^{o}C
Özgül Isı	2890 J/(Kg-K)
Isıl İletkenlik	0,125 W/(m-K)
Paralel Elastisite Modülü	11000 MPa
Normal Elastisite Modülü	4600 MPa
Paralel Poisson Oranı	0,4
Normal Poisson Oranı	0,57
Paralel Isıl Genleşme Katsayısı	0,000024 1/^{o}C
Normal Isıl Genleşme Katsayısı	0,000071 1/^{o}C
Erime Akış Oranı	40 cm^3/10 dk.
Maksimum Kayma Gerilmesi	0,495 MPa
Maksimum Kayma Oranı	60600 1/s



Şekil 1. Kazanın 3B katı modeli

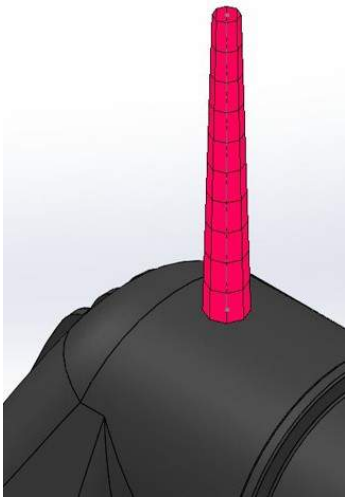
Yolluğun konumu, malzemenin kalıbın uç kısımlarını aynı anda doldurması açısından oldukça önemlidir. Yolluğun geometrisi ise kalıbın girişi ile uç kısmı arasındaki basınç farkını, diğer bir ifadeyle işlemi gerçekleştirebilmek için gerekli enjeksiyon basıncını belirler. Yolluk geometrisi ile basınç ve kayma gerilmesinin değişimi Tablo 2'de görülmektedir.

Şekil 2. Kazanın sonlu eleman modeli

Tablo 2. Yolluk geometrisine bağlı olarak basınç ve kayma gerilmesinin değişimi

Giriş Parametreleri				Çıkış Parametreleri	
Yolluk Üst Çapı [mm]	Yolluk Alt Çapı [mm]	Yolluk Boyu [mm]	Yolluk Açısı [^{o}]	Basınç Farkı [MPa]	Kayma Gerilmesi [MPa]
3	10	75	2,67	40,87	0,61
4	8	75	1,53	38,41	0,48
4	10	75	2,29	32,72	0,41
5	10	75	1,91	27,98	0,37
6	10	75	1,53	24,94	0,35

Analiz sonuçlarına göre belirlenen yolluk konum ve geometrisi Şekil 3'te görülmektedir. Basınç farkının düşük olması plastik enjeksiyon işleminin sorunsuz şekilde gerçekleştirilebilmesi için gerekli enjeksiyon basıncını düşürmektedir.



Şekil 3. Yolluk konum ve geometrisi

PA 6.6 için kayma gerilmesinin 0,495 MPa değerinden düşük olması gerekmekte olup (Tablo 1) düşük değerler parça kalitesini arttırmaktadır. Buna göre; yolluk üst çapı, yolluk alt çapı ve yolluk boyu için sırasıyla 6 mm, 10 mm ve 75 mm değerleri seçilmiştir.

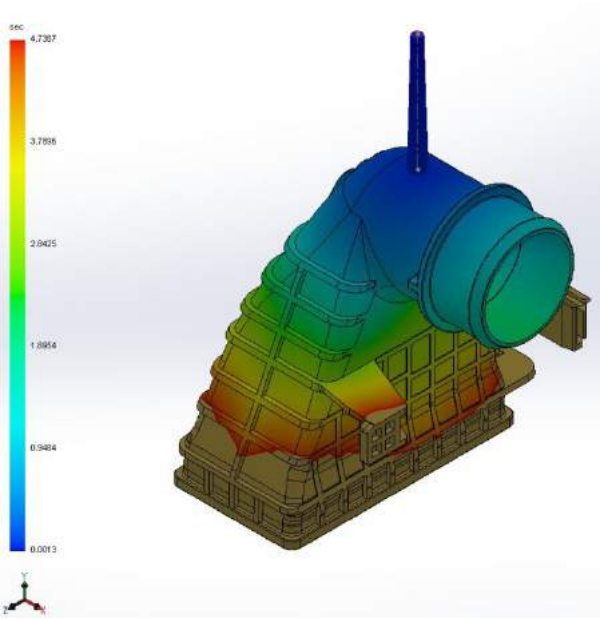
Belirlenen yolluk konumu ve geometrisi ile eleman tipi ve sayısı sabit tutularak gerçekleştirilen analizlerde farklı enjeksiyon sürelerinin enjeksiyon sonrası basınç dağılımı, ısıl artış, kayma gerilmesi ve toplam enjeksiyon çevrim süresi değerlerine etkileri gözlemlenmiştir.

Analizler 96 GB bellekli, çift Intel Xeon X5650 işlemcili bir iş istasyonunda çalıştırılmış olup analiz sonuçlarıyla üretimi yapılan parçanın karşılaştırılması yapılmıştır.

3. Analiz Sonuçları

Gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçlar; plastik enjeksiyon işlemi sırasında ergimiş malzemenin yolluktan daha iyi akmasını, ısısını koruyarak kalıp boşluğuna daha hızlı transfer olmasını ve kalıp boşluklarını tam olarak doldurmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu sayede ürün kalitesinin arttırılması, hatalı ürün oranının azaltılması ve plastik enjeksiyon işlemi sonunda çıkan yollukların maliyetinin azaltılması hedeflenmektedir.

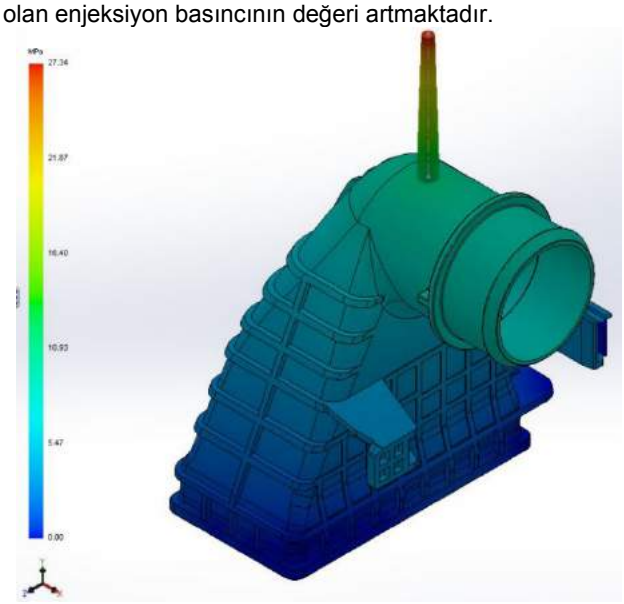
Plastik enjeksiyon işleminin en önemli aşamalarından biri ergimiş plastiğin kalıp boşluğunda ilerlemesidir. Bu ilerlemenin belirli bir hız aralığında ve laminer bir şekilde gerçekleşmesi; gaz kabarcığı ve kaynak izi oluşumu ile çarpılma gibi olumsuzlukların ortaya çıkmasının engellenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Ergimiş plastiğin kalıp boşluğunu doldurma hızının uygun değerlerde seçilmemesi durumunda kayma gerilmeleri, ısıl değişkenlikler ve çökmeler istenmeyen değerlere ulaşır. Şekil 4'te ergimiş plastiğin kalıp boşluğunda ilerleyişi zamana bağlı olarak görülmektedir.



Şekil 4. Enjeksiyon sırasında ergimiş plastiğin kalıp boşluğunda ilerleyişi

Kalıp boşluğunun ergimiş plastik ile enjeksiyonu tamamlandığında, kalıbın en uç noktasında basınç sıfır iken yolluk girişinde basınç maksimum değere ulaşır. Bu değer, teorik olarak gerekli minimum enjeksiyon basıncını

ifade eder. Şekil 5'te enjeksiyon sonrasında kalıp boşluğundaki basınç dağılımı görülmektedir. Minimum enjeksiyon basıncının değerinin mümkün olduğunca düşük olması tercih edilir. Enjeksiyon hızının ve akış sırasındaki enerji kayıplarının yüksek olması durumunda gerekli enjeksiyon basıncı artar. Enjeksiyon hızının düşük olması durumunda ise kalıp boşluğu doldurulamadan ergimiş plastik kalıp çeperlerinden katılaşmaya başlar. Akıştaki enerji kayıpları ise daha çok parça geometrisinin karmaşıklığına ve akışın düzgünlüğüne bağlıdır. Analizi gerçekleştirilen parçada çok sayıda feder bulunduğundan minimum enjeksiyon basıncı yüksek olmaktadır. Minimum enjeksiyon basıncı; ergimiş plastiğin sıcaklığı yükseltilerek ve geometrideki karmaşıklık azaltılarak düşürülebilir. Minimum enjeksiyon basıncını etkileyen diğer bir faktör ise parça et kalınlığıdır. Parçanın et kalınlığı azaldıkça gerekli olan enjeksiyon basıncının değeri artmaktadır.

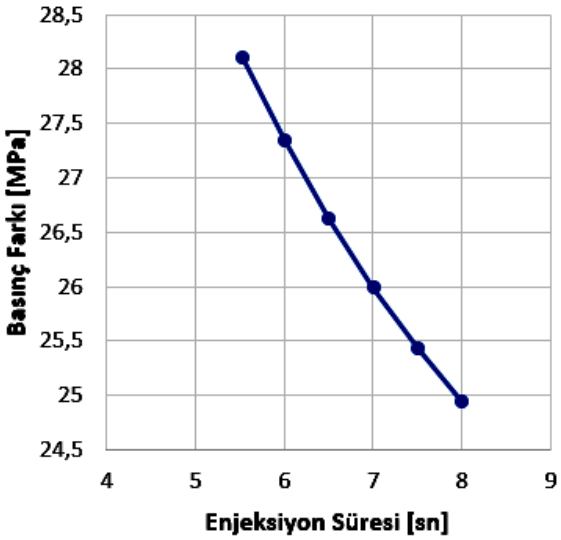


Şekil 5. Enjeksiyon sonrasında basınç dağılımı

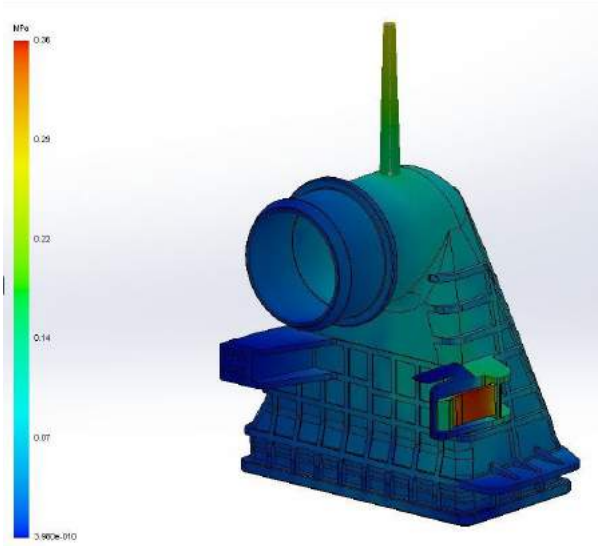
Şekil 6'da enjeksiyon süresine bağlı olarak kalıp boşluğunun en uç noktası ile yolluk girişi arasındaki basınç farkının, diğer bir ifadeyle gerekli minimum enjeksiyon basıncının değişimi görülmektedir.

Belirlenen yolluk geometrisinde, sözkonusu enjeksiyon sürelerinde ortaya çıkan maksimum kayma gerilmelerinin 0,35~0,36 MPa olduğu ve malzemenin emniyet sınırları içinde kaldığı belirlenmiştir. Şekil 7'de maksimum kayma gerilmelerinin değeri ve ortaya çıktığı bölgeler görülmektedir. Enjeksiyon süresinin minimum değeri belirlenirken laminer akışın ortadan kalktığı ve bu nedenle kaynak çizgilerinin ve çökme noktalarının belirginleştiği şartlar gözönünde bulundurulmuştur.

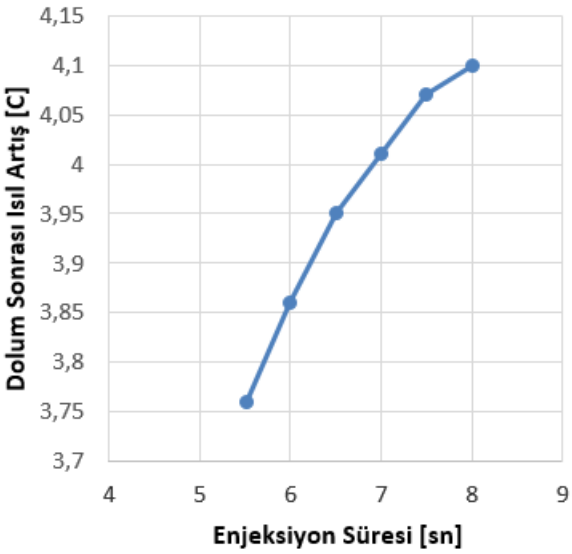
Şekil 8'de enjeksiyon süresine bağlı olarak dolum sonrası ısıl artışın değişimi görülmektedir. Isıl artış en çok kalıp boşluğunun dar olduğu yerlerde görülmektedir. Bunun nedeni erimiş plastiğin dar kesitlerden geçerken kendi kendini ısıtmasıdır. Ortaya çıkan ısıl artışlar oldukça sınırlı düzeyde olup enjeksiyon süresinden fazlaca etkilenmemektedir.



Şekil 6. Enjeksiyon süresine bağlı olarak basıncın değişimi

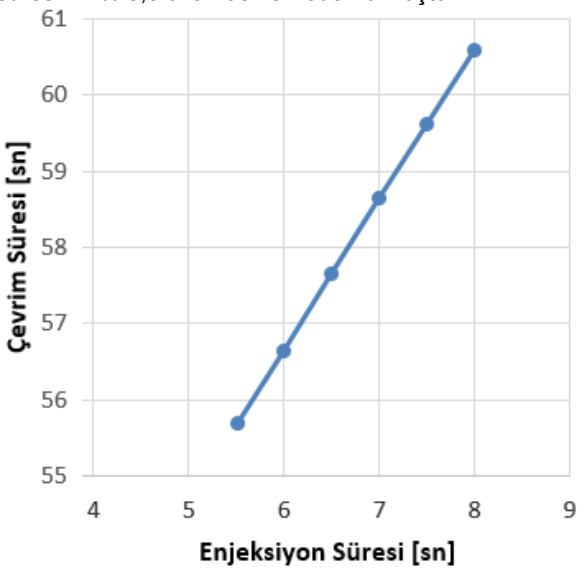


Şekil 7. Enjeksiyon işleminde maksimum kayma gerilmelerinin ortaya çıktığı bölgeler



Şekil 8. Enjeksiyon süresine bağlı olarak dolum sonrası ısıl artışın değişimi

Şekil 9'da enjeksiyon süresine bağlı olarak bir plastik enjeksiyon çevrim süresinin değişimi görülmektedir. Enjeksiyon süresindeki % 45'lik artış toplam çevrim süresinin % 8,8 uzamasına neden olmuştur.



Şekil 9. Enjeksiyon süresine bağlı olarak çevrim süresinin değişimi

4. Değerlendirme

Gerçekleştirilen analizlerde öncelikle, yolluk konum ve geometrisinin basınç farkı ve kayma gerilmesi üzerindeki etkileri incelenmiş ve uygun yolluk çap, boy ve açısı belirlenmiştir. Tablo 2'de yolluk geometrisi ile ilgili olarak seçilen değerler görülmektedir. Belirlenen yolluk konum ve geometrisi kullanılarak gerçekleştirilen sonraki analizlerde enjeksiyon süresinin; basınç farkı, dolum sonrası ısıl artış, kayma gerilmesi ve çevrim süresi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- Enjeksiyon süresinin artmasıyla gerekli minimum enjeksiyon basıncı düşmektedir.
- Enjeksiyon süresinin azalmasıyla imalat hızı artmakta, buna karşın belirli kesitlerde kayma gerilmeleri emniyet sınırlarını aşmakta ve hatalı ürünler ortaya çıkmaktadır.
- Enjeksiyon süresi arttıkça dolum sonrası ısıl artışta yükselme meydana gelmektedir. Ancak sözkonusu yükselme ihmal edilebilir seviyede kalmaktadır.
- Enjeksiyon süresindeki artış çevrimin diğer aşamalarını önemli ölçüde etkilememekte ve toplam plastik enjeksiyon çevrim süresindeki artış sınırlı miktarda kalmaktadır.
- Plastik enjeksiyon kalıplamada imalat hızını arttıran faktörler genel olarak ürün kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle işlem ve malzeme parametrelerinin doğru belirlenmesi hem ucuz hem de kaliteli ürün elde edilmesi açısından son derece önemlidir.

Teşekkür

Bu çalışma, MUH03.13.004 numaralı bilimsel araştırma projesi ile Hitit Üniversitesi tarafından finansal olarak desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Chen, W. C., Fu, G. L., Tai, P. H. and Deng, W. J., Process parameter optimization for MIMO plastic injection molding via soft computing, Expert Systems with Applications. vol. 36, pp. 1114-1122, 2009.

[2] Selmi, A., Doghri, I. and Adam, L., Micromechanical simulations of biaxial yield, hardening and plastic flow in short glass fiber reinforced polyamide, International Journal of Mechanical Sciences. vol. 53, pp. 696–706, 2011.

[3] Apichartpattanasiri, S., Hay, J. N. and Kukureka, S. N., A study of the tribological behaviour of polyamide 66 with varying injection-moulding parameters, Wear. vol. 251, pp. 1557-1566, 2001.

[4] Kuram, E., Tasci, E., Altan, A. İ., Medar, M. M., Yilmaz, F. and Ozcelik, B., Investigating the effects of recycling number and injection parameters on the mechanical properties of glass-fibre reinforced nylon 6 using Taguchi method, Materials and Design. vol. 49, pp. 139-150, 2013.

[5] Chen, C. P., Chuang, M. T., Hsiao, Y. H., Yang, Y. K. and Tsai, C. H., Simulation and experimental study in determining injection molding process parameters for thin-shell plastic parts via design of experiments analysis, Expert Systems with Applications. vol. 36, pp. 10752-10759, 2009.

[6] Wang, Y., Kim, J. and Song, J., Optimization of plastic injection molding process parameters for manufacturing a brake booster valve body, Materials and Design. vol. 56, pp. 313-317, 2014.

[7] Seow, L. W. and Lam, Y. C., Optimizing flow in plastic injection molding, Journal of Materials Processing Technology. vol. 72, no. 3, pp. 333-341, 1997.

[8] Teixeira, D., Giovanela, L. B., Gonella, L. B. and Crespo, J. S., Influence of flow restriction on the microstructure and mechanical properties of long glass fiber-reinforced polyamide 6.6 composites for automotive applications, Materials and Design. vol. 47, pp. 287-294, 2013.

[9] Gerber, A. G., Dubay, R. and Healy, A., CFD-based predictive control of melt temperature in plastic injection molding, Applied Mathematical Modelling. vol. 30, pp. 884-903, 2006.

[10] Santos, P. A., Spinace, M. A. S., Fermodselli, K. K. G. and Paoli, M. A. D., Polyamide-6/vegetal fiber composite prepared by extrusion and injection molding, Composites: Part A. vol. 38, pp. 2404-2411, 2007.

[11] Ozcelik, B. and Erzurumlu, T., Comparison of the warpage optimization in the plastic injection molding using ANOVA, neural network model and genetic algorithm, Journal of Materials Processing Technology. vol.171, pp. 437-445, 2006.

[12] Song, M. C., Liu, Z., Wang, M. J., Yu, T. M. and Zhao, D. Y., Research on effects of injection process parameters on the molding process for ultra-thin wall plastic parts, Journal of Materials Processing Technology. vol.187-188, pp. 668-671, 2007.

[13] Tang, S. H., Kong, Y. M., Sapuan, S. M., Samin, R. and Suleiman, S., Design and thermal analysis of plastic injection mould, Journal of Materials Processing Technology. vol.171, pp. 259-267, 2006.

[14] Kurt, M., Kamber, O. S., Kaynak, Y., Atakok, G. and Girit, O., Experimental investigation of plastic injection molding: Assessment of the effects of cavity pressure and mold temperature on the quality of the final products, Materials and Design. vol. 30, pp. 3217-3224, 2009.
[15] Yang, W. M. and Yokoi, H., Visual analysis of the flow behavior of core material in a fork portion of plastic sandwich injection molding, Polymer Testing. vol. 22, pp. 37-43, 2003.
[16] Oktem, H., Erzurumlu, T. and Uzman, I., Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part, Materials and Design. vol. 28, pp. 1271-1278, 2007.
[17] SolidWorks 2013 Plastics Premium Modülü Malzeme Veritabanı.

TOOL DESIGN INCLUDING HEATING AND COOLING UNITS FOR WARM DEEP DRAWING PROCESS

M. Hüseyin ÇETİN [a], Mevlüt TÜRKÖZ [b], Adem Fatih ÖZALP [a]
Osman YİĞİT [c], Erol ARCAKLIOĞLU [a]
[a] Karabuk University, Karabuk, Turkey,
E-mail: hcetin@karabuk.edu.tr; afatihozalp@karabuk.edu.tr; arcakli@karabuk.edu.tr
[b] Selcuk University, Konya, Turkey, E-mail: mevlutturkoz@selcuk.edu.tr
[c] Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey, E-mail: osman_yigit_06@hotmail.com

Abstract

Warm deep drawing process has significance for formability enhancement of light-weight engineering materials such as aluminum-magnesium alloys. For obtaining required drawing ratios in warm deep drawing process, shear bands in material must be activated by temperature effect. However, under deep drawing conditions, flange region and punch region exhibit different characteristics due to circumferential and radial stress distribution on the material. Thereby, not only heating also cooling is needed to obtain temperature gradient in concern with stress distribution. In this study, tool design for warm deep drawing process with heating and cooling units for obtaining temperature gradient on material was investigated. In tooling stage, design of blank holder, punch and die with dimensions were evaluated. Design and integration of heating and cooling system with insulation layer were discussed separately and compared with literature. According to whole design stage, obtaining temperature gradient on material under closed die conditions is effortful process and systematic design approach is needed for stable tooling and failure free manufacturing.

Keywords: Warm deep drawing, tool design, heating and cooling unit

1. Introduction

An increasing usage demand of light weight engineering materials in industry (especially automotive, aero-space and electronics) due to energy saving oriented facilities indicates that warm forming process is needed to investigate to enhance formability of light weight engineering materials [1-4]. Especially aluminum and magnesium alloys are needed to form at warm temperature degrees for activation of shear bands. However, in warm deep drawing process, different regions in material shows different mechanical characters (flange region exposed to stress and cup wall region exposed to yield) [5]. Therefore, for enhance formability, flange region must be heated and cup wall region with punch radius region temperature could be stand lower than flange temperature with cooling. Hence, in design stage of warm deep drawing tool, consideration of working systematic and assembly of heating and cooling unit is important.

In warm deep drawing process, tooling stage can be classified as forming tool design and component technologies design (Fig. 1). Forming tool design stage involves punch and punch radius design, die and die radius design and blank holder design. Punch and die radiuses have significance for failure free products. The main failures such as tearing, necking and striations are directly related to design of radiuses [6]. Another factor has importance for manufacturing of failure free cups is blank holder pressure. While insufficient blank holder pressure leads to occur wrinkling in flange region, high blank holder pressure causes excessive thinning and tearing in die/punch radius region [7]. In addition, equal distribution of blank holder pressure in all contact points is significant parameter. Forming tool design stage can be called as traditional and basic design process which not includes advanced parameters such as temperature effect.

Component technologies have importance for obtaining high drawing ratios and enhancing formability of alloys. This stage involves heating unit design, cooling unit design, insulation and temperature measurement. Heating unit design consists of heating resistances, thermocouples and controller modules. Temperature effect in aluminum alloys forming process is required for enhancing formability by way of activating shear bands. This effect is parallel with interaction of viscosity and temperature of liquids. However, thermal effect is necessary for magnesium in order to improve formability due to hexagonal closed packed structure. Ongoing researches showed that cooling the punch improves formability by providing less stretch and more stress in punch material contact region [5]. Therefore, using cooling unit has significant effect on warm deep drawing process. Cooling unit elements are cooling water vessel with pomp for water circulation which works stable in elevated temperatures and water installation system. Another factors have considerable effect on process are measurement and insulation systems. Temperature measurement can be realizable different points of forming unit such as blank holder, punch, die and blank material. Insulation layers can be located between press and tooling system for preventing hydraulic cylinders and guide pins to distortion.

Tool design is an important step in assessment of warm deep drawing process. Including heating and cooling units makes system quite complex and difficult analyzable. Therefore, each of warm deep drawing system element and their function would be identified for production of failure free cups. However, there is limited number of study in literature about warm deep drawing tool design including heating and cooling units. Also, the efficiency of component technologies wasn't discussed adequately in literature. In this study, each of warm forming tooling elements was investigated and their effects on process were discussed. Determination criteria of forming tool

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

dimensions were specified. Heating and cooling unit with insulation layer discussed separately and compared with literature.

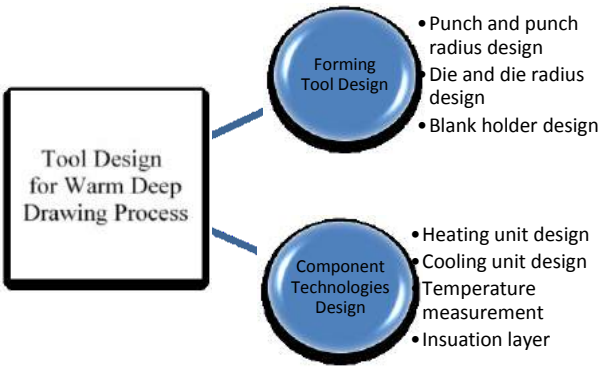


Fig. 1 Tool design classification for warm deep drawing process

2. Forming Tool Design Stage

Design and manufacturing of forming tool system was carried out at five stages according to systematic engineering design principals. Steps are carried out with the following sequence: Material selection, determination of tool dimensions, mechanical drawing, tool manufacture and heat treatment (Fig. 2).

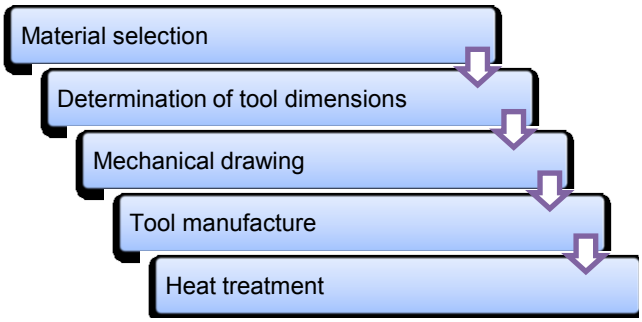


Fig. 2 Systematic design steps for tool design

The main expectations from the tool material were minimum thermal expansion, easily machinable, wear resistance and hardenable. In material selection process, mechanical performance of material under warm conditions and machinability was considered as main criteria. AISI 4140 high tensile steel, contains carbon (C), manganese (Mn), chrome (Cr) and molybdenum (Mo), was selected as a tool material. Chemical content of C, Mo and Mn increases tensile strength, strength at elevated temperatures and wear resistance. Additionally, Cr addition increases hardenability and wear resistance. Also, all of alloy elements have an effect of improving hardening depth that is an important characteristic for hardening of tools after machining.

Tool dimensions were considered for each drawing ratios (DR). Drawing ratio is formability scale of materials and calculation with proportion of blank material diameter to punch diameter. Higher drawing ratios means deeper drawn cups and it is objective function for deep drawing process. In this study, tool dimensions were calculated according to 1.8, 2.0, 2.3, 2.5 and 2.7 drawing ratios of diameter of ≈150±0.2 mm sheet material. Empiric equations obtained from the literature were used for determination of punch radius and die radius (Eq. 1, Eq. 2 and Eq. 3) [8]. In determination of measures, highest measures were chosen to avoid shearing forces in radiuses. Profile of tool parameters considered in tooling stage was shown in Fig. 3.

$$5*t<r_1<10*t \quad (1)$$

$$r_2 = 0.9 * ((D-d_1)*t)^{0.5} \quad (2)$$

$$d_2 = d_1 + 2* PDC \quad (3)$$

In Eq. (1) t means sheet thickness and r_1 is punch radius. In Eq. (2) and Eq. (3), r_2 means die radius, D is blank material diameter, PDC is punch – die clearance, d_1 is punch diameter and d_2 is die diameter. Tool dimensions were calculated according to drawing ratios was presented in Table 1.

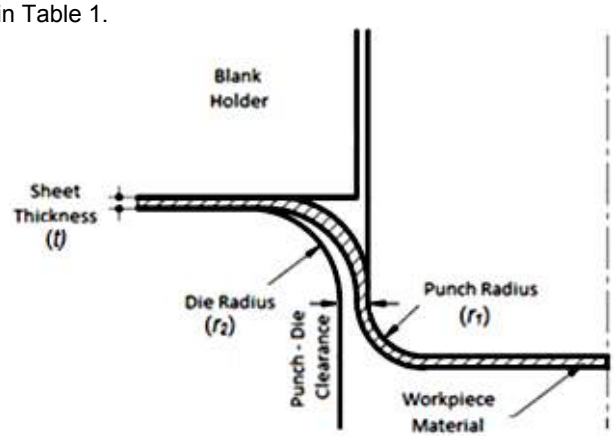


Fig. 3 Tool parameters considered in design stage [5]

Table 1 Tool dimensions according to drawing ratios

Drawing Ratio	Punch Diameter [mm]	Punch Radius, [mm]	Die Radius, [mm]	Die Diameter, [mm]
1.8	83.33	15	10.39	87.51
2	75	15	11.02	79.17
2.3	65.21	15	11.71	69.39
2.5	60	15	12.07	64.17
2.7	55.55	15	12.36	59.73

Punch surface was machined accuracy of 6.3 µm at rough dimensions to increase friction coefficient in punch – material contact region to draw cups without tearing failure. However, die surface was machined accuracy of 0.4 – 1.6 µm range at finish turning conditions. The tolerances of the tool dimensions were determined in the range of -0.02 to -0.05 mm. Technical drawing for punch and die was shown in Fig.3 and Fig. 4 with standard dimensions for each drawing ratios, respectively.

Hardenability of punch and die surfaces are important due to decreasing tool wear, providing rigidity under high pressures and economically long term usage. Carbonitriding process was applied to tools to gain hardness under temperatures of 850-950 °C. After carbonitriding process, tools were machined (surface

finish) again to minimize misalignment errors consisted because of temperature.

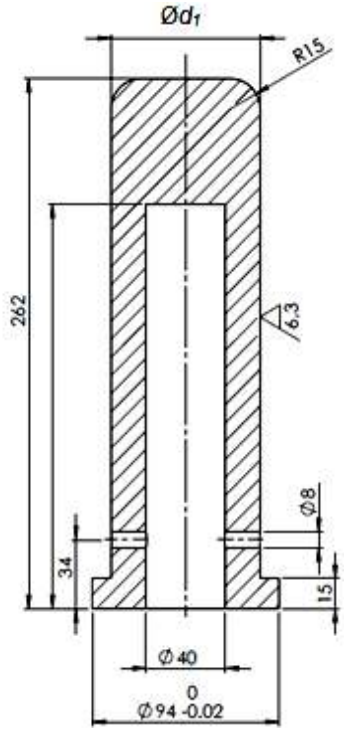


Fig. 3 Technical drawing of punch with standard dimensions for each drawing ratios

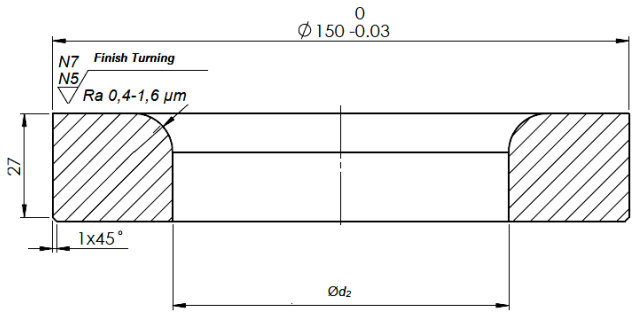


Fig. 4 Technical drawing of die with standard dimensions for each drawing ratios

3. Component Technologies Design Stage

Component technologies design stage mainly involves heating unit design and cooling unit design. The process sequence of heating unit design stage starts with heater selection for blank holder and dies and after assembly of heaters, thermocouples and insulation layer was followed. Cooling unit design stage could be described in this sequence: Cooling vessel design, pomp selection for water circulation and concurrently assembly of water installation system. Design hierarchy for component technologies was presented in Fig. 5.

The actual warm deep drawing tool with all components was shown in Fig. 6. Only forming zone was captured in Fig. 6 and this region involves guide pins, flange, fasteners, blank holder cylinders, and press table with channels except heating and cooling units. To understand tooling elements, the schematic diagram of tool with numbered components was shown in Fig. 7. Forming zone distance should be considered for set-up of forming unit easily. Otherwise, reengineering of rigid tool elements due to mismatch of measures results time consuming and economic losses.

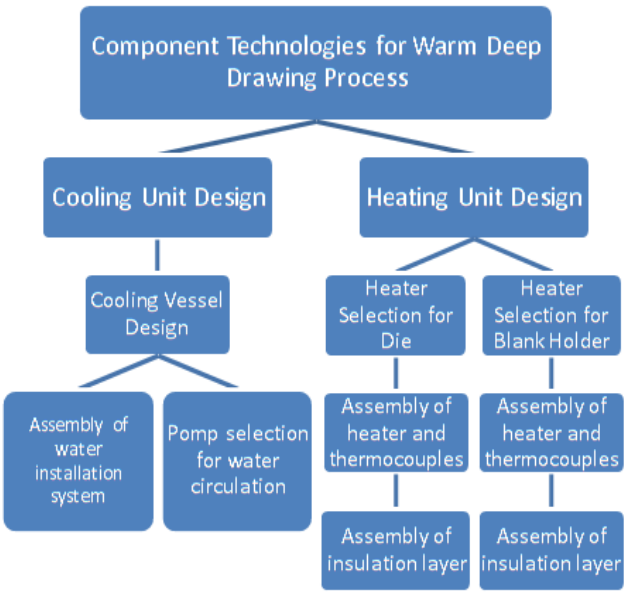


Fig. 5 Design hierarchy for component technologies design

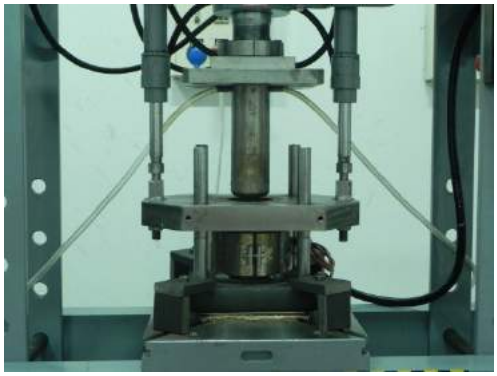


Fig. 6 Actual warm deep drawing tool

Temperature is the main effective parameter in warm forming that provides process realizable. Therefore, selection and assembly of heater is significant for obtaining needed temperature degrees on work piece material. In literature, cartridge heaters were used generally for heating tools [5, 9-11]. However, cartridge heaters must be assembled in close fit conditions to transfer heat. Otherwise, high voltage was generated for heat generation causes internal explosion of cartridge heater. This situation makes process unstable and inconvenient for industrial applications. To address this issue, different type of heaters which were selected according to the tool geometry, were used for heating of blank holder and die. 2400 W power capacity ceramic resistance heater were used for heating of blank holder and it was wrapped to the blank holder along the outer surface (Fig. 8). For heating of die elements, 1100 W power capacity plate resistance heater were used (Fig. 9). Plate resistance was placed under die matrix.

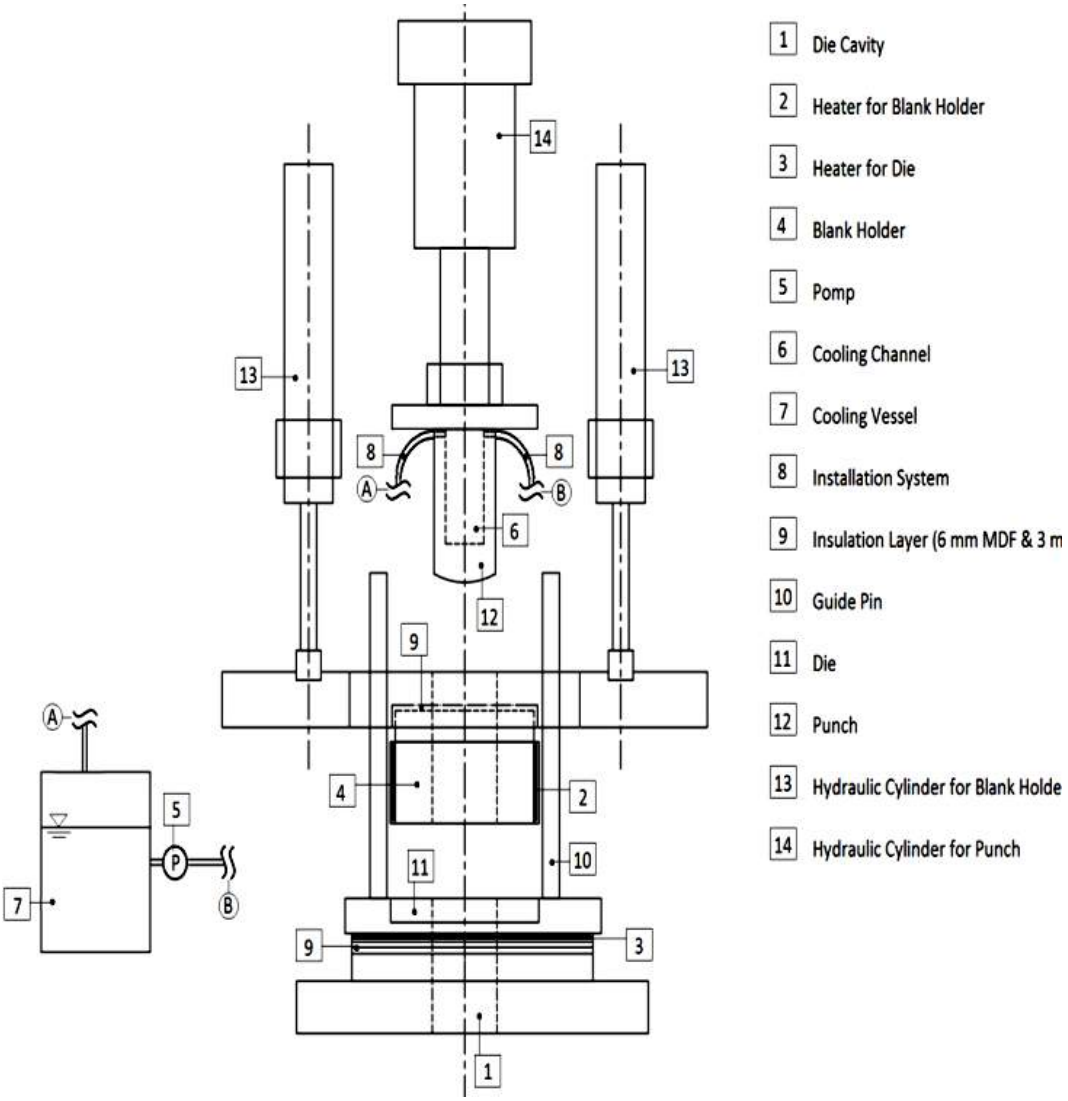


Fig. 7 Schematic diagram of tool

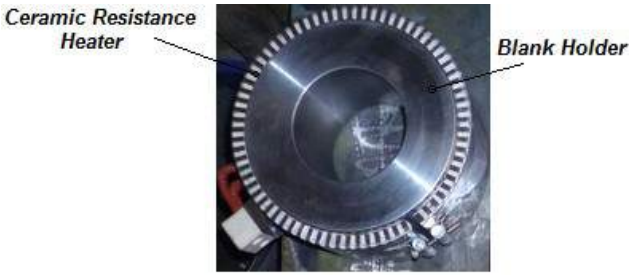


Fig. 8 Assembly of ceramic resistance heater to the blank holder

Insulation applications were conducted at two stages including inside insulation and outside insulation of heaters. Inside insulation layer was applied to canalize heat from the work piece material direction. Inner surface of ceramic resistance heater was insulated by rock wool material and plate resistance was insulated by mica material. Insulation for preventing press and hydraulic cylinders to the thermal effects is outside insulation stage in which 6 mm MDF material for flatness of tool set and 3 mm amiant for insulation were used. L type thermocouples were used for temperature measurement. Thermocouples were located inside the blank holder and die and the length is 15 mm below and above from the work piece material surface (Fig. 10). Digital thermostat and contactor were equipped to the system to keep temperature constant at desired values.

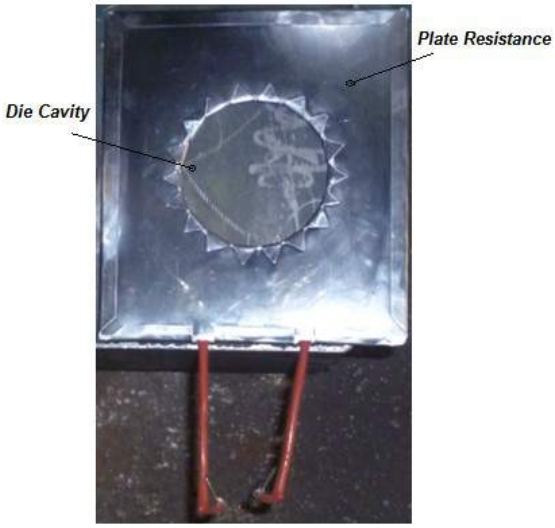


Fig. 9 Photograph of plate resistance heater

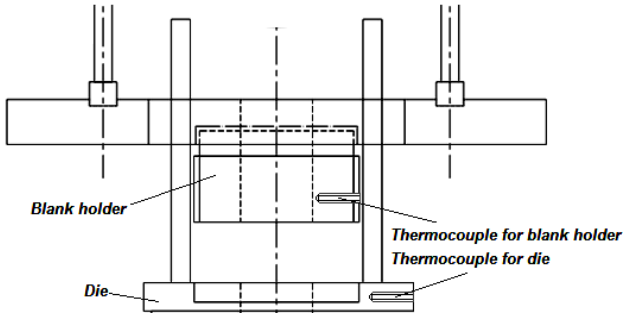


Fig. 10 Schematic diagram for thermocouples location

Components for cooling system can be classified as water vessel, pomp and water installation system (Fig. 11). Cooling channel was presented in Fig. 7 by the element number of 6. According to preliminary experiments, cooling water temperature reaches approximately 44 °C when the temperature is 200 °C in blank holder and dies (steady stand condition) (Fig. 12). Thermal capacity of pomp must be considered in pomp selection stage. The determiner for pomp selection is maximum degree of cooling water temperature. In water vessel (capacity of 16 liters), 40 W power pomp which is stable up to 100 °C was used for circulation of cooling water. Flow rate of cooling water is 100 ml/sec. Flow rate variation wasn't considered due to low influence of flow rate on temperature [11]. For water installation and sealing, transparent air hose and high temperature silicon were used, respectively.

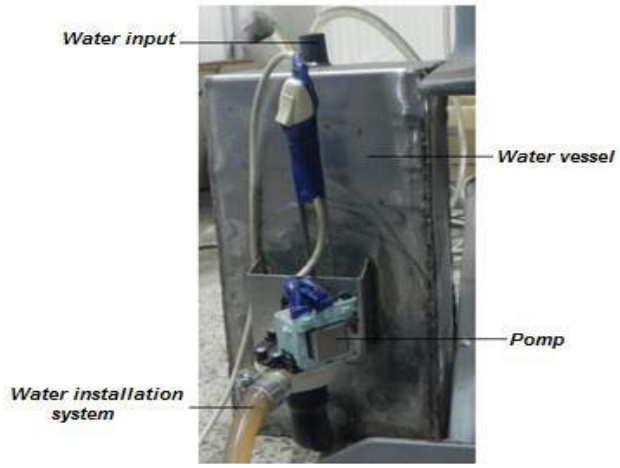


Fig. 11 Photograph of cooling unit

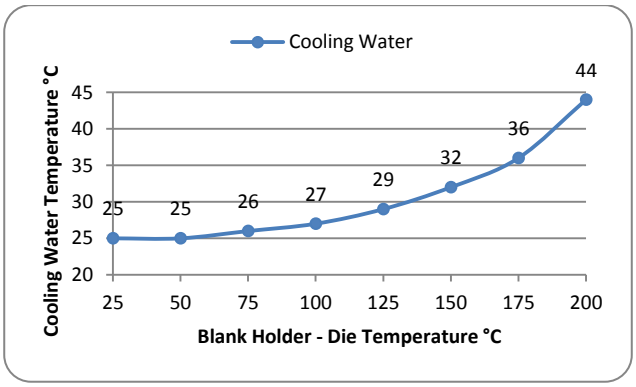


Fig. 12 Variation of cooling water temperature

4. Conclusions

In this study, warm deep drawing tooling with heating and cooling units was investigated. Design step was investigated at two sections namely forming tool design stage and component technologies design stage. Basic tooling elements such as die, punch and blank holder were evaluated under the title of forming tool design stage and heating and cooling unit were evaluated under component technologies design stage. Significance of component technologies such as heating and cooling units for warm deep drawing process was discussed and selection and assembly of these units were thoroughly evaluated.

References

[1] Cole, G.S., Sherman, A.M., Lightweight materials for automotive applications, Mater. Charact., vol. 35, pp. 3–9, 1995.

[2] Bolt, P. J., Werkhoven, A. H., Boogard, V. D., Warm deep drawing of aluminium sheet, Proceedings of the sheet metal international conference, 2003.

[3] Shehata, F., Painter, M.J., Pearce, R., Warm forming of aluminum/magnesium alloy sheet. J. Mech. Work Technol. 2,279–291, 1978.

[4] Wilson, D.V., Aluminium versus Steel in family car-the formability factor, Journal of Mechanical Working Technology, Vol.16, No.3, pp. 255-277, 1988.

[5] Kaya, S., Spampinato, G., Altan, T., An experimental study on nonisothermal deep drawing process using aluminum and magnesium alloys, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 130/ 061001, 2008.

[6] Zhang, S. H., Zhang, K., Xu, Y. C., Wang, Z. T., Xu, Y., Wang, Z. G., Deep-drawing of magnesium alloy sheets at warm temperatures, Journal of Materials Processing Technology, vol. 185, pp. 147-151, 2007.

[7] Demirci, H. I., Esner, C., Yasar, M., Effect of the blank holder force on drawing of aluminum alloy square cup: Theoretical and experimental investigation, Journal of Materials Processing Technology, 206, pages152-160 2008.

[8] Çapan, L., Metallere plastik şekil verme, Caglayan Press, 3. Edition, 1999.

[9] Hui, W., Ying-bing, L., Friedman, P., Ming-he, C., Lin, G., Warm forming behavior of high strength aluminum alloy AA7075, Trans. of Nonferrous Metals Society of China, vol. 22, pp. 1-7, 2012.

[10] Mahabunphachai, S., Koc, M., Investigations on forming of aluminum 5052 and 6061 sheet alloy at warm temperatures, vol. 31, pp. 2422-2434, 2010.

[11] Palumbo, G., Tricarico, L., Numerical and experimental investigations on the warm deep drawing process of circular aluminum alloy specimens, J. Mater. Process. Technol., v. 184, pp. 115–123, 2007.

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ KULLANILARAK POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAYIN MODELLENMESİ

POLYMER COMPOSITE OF LEAF SPRING MODELING USING THE FINITE ELEMENT METHOD

Oğuzhan BİLDİK[a], Birhan IŞIK[b]
[a] Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, TÜRKİYE,
E-posta: oguzhanbildik@gmail.com
[b] Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Karabük, TÜRKİYE,
E-posta: birhanisik@karabuk.edu.tr

Özet

Günümüzde önemi gittikçe artmakta olan kompozit malzemeler günlük hayatta birçok alanda kullanılmakta ve kullanımı gittikçe artmaktadır, yapılan bu çalışmada polimer kompozit malzeme süspansiyon sisteminde yaprak yay malzemesi olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada cam elyaf keçe, cam elyaf dokuma, cam elyaf fitil malzemeler, farklı reçine oranlarında bir araya getirilerek el yatırması yöntemiyle üretilen polimer kompozit yaprak yayların sonlu elemanlar yöntemi ile analiz edilmesi ve sonuçlarının kıyaslanması incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sonlu elemanlar yöntemi, camelyaf, polimer kompozit yaprak yay

Abstract

Composite materials are becoming increasingly indispansable to daily life. In this study, a polymer composite material is designed for use as a leaf spring material in a suspension system. In this study, polymer composite leaf springs were produced by bringing fiber felt, fiber glass textile, fiber glass wick materials in together with different resin rates by hand lay-up method of the finite element method analysis, and the results of compared with was investigated.

Keywords: Finite element method, glassfibre, polymer composite leaf spring

1. Giriş

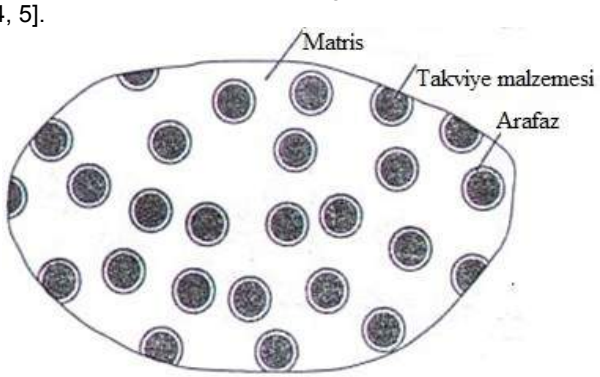
Otomotiv sektörünün gelişimi sadece dış ve iç tasarımda gerçekleşmemiş, mekanik özelliklerde gelişim ve yeni malzeme arayışları hız kazanmıştır. Özellikle malzeme teknolojilerindeki gelişime paralel olarak daha hafif, daha az korozif özelliklere sahip ve bunların yanında da yeterli derecede mukavemete sahip malzemeler önem kazanmıştır. Oluşan bu gelişmeler karşısında otomotiv süspansiyon sistemleri de üretim ve tasarım aşamalarında farklı malzeme tipleri ve farklı tasarımlarla üretilmeye çalışılmıştır. Bunun yanı sıra yol yapım standartlarındaki gelişmelerle birlikte araçlardaki konfor seviyesi süspansiyon sistemleri geliştirilerek artırılmaya çalışılmaktadır [1].

Çalışmalar neticesinde hem ticari hem de bilimsel alanda çok önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Qureshi [2], yaptığı çalışmada kompozit malzemeden otomotiv yaprak yaylarını incelemiş, kompozit malzeme olarak da cam elyaf kompozit malzemeden üretilen yaprak yayı tercih etmiştir.

Özellikle farklı malzemeler (kompozit) ve bu malzemelerin bileşenleri de kullanılarak konfor, hafiflik ve dolayısı ile hem üretim tasarrufu hem de yakıt tasarrufu gibi etmenler önem kazanmıştır. Sugiyama ve arkadaşları [3] yapmış oldukları çalışmada özellikle arazi araçları için doğrusal elastik yaprak yay modelinin geliştirilmesi üzerine çalışmışlardır. Yaptıkları çalışmada bilgisayar simülasyon sistemi kullanmışlardır.

2. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme, istenen amaç için tek başlarına uygun olmayan farklı iki veya daha fazla malzemenin istenen özellikleri sağlayacak şekilde belirli şartlar ve oranlarda fiziksel olarak bir araya getirilmesiyle elde edilen malzeme grubudur. Üç boyutlu bu bir araya getirmede amaç, bileşenlerin hiçbirinde tek başına mevcut olmayan bir özelliğin elde edilmesidir. Diğer bir deyişle, amaçlanan doğrultuda bileşenlerinden daha üstün özelliklere sahip bir malzeme üretilmesi hedeflenmektedir. Kompozit malzemeye, “Çok Bileşenli Malzeme”, “Çok Fazlı Malzeme”, “Donatılı Malzeme”” gibi adlar da verilmektedir [4, 5].



Şekil 1. Kompozit malzemenin fazları [6]

Kompozit malzemelerin üretim amaçları [7, 8];

- Mukavemeti arttırmak
- Yorulma dayanımı arttırmak

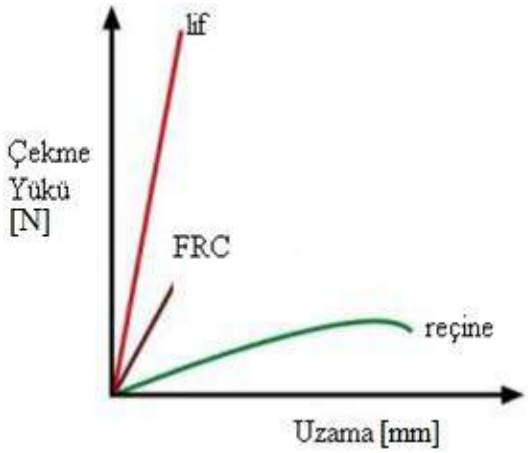
© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

- Korozyon(Aşınma) dayanımını arttırmak
- Kırılma tokluğunu arttırmak
- Ekonomiklik
- Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri iyileştirmek
- Isıl iletkenliği arttırmak
- Elektrik iletkenliğini arttırmak
- Akustik özelliği iyileştirmek
- Rijitliği arttırmak
- Ağırlığı azaltmak
- Kolay renklendirilebilir ve estetik tasarım
- Üretim kolaylığı sağlamak

2.1. Kompozit Malzemelerin Mekanik Özellikleri

Kompozitlerin özgül ağırlıklarının düşük olması, yüksek mukavemet göstermeleri, kolay şekillendirilebilmeleri, daha az deformasyona uğramaları ve daha fazla yük taşıyabilmeleri kullanım alanları için büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bunun yanında, kompozit malzemelerin üretiminde şu özelliklerin geliştirilmesi hedeflenir. Mekanik dayanım, korozyona karşı direnç, rijitlik, ağırlık, yüksek sıcaklığa dayanım göstermek, ısı iletkenliği, kırılma tokluğu, ses tutuculuğu ve görünüm. Bu özelliklerin birisi veya birkaçı geliştirilirken, kompozit malzemenin zayıf yönleri iyileştirilir. Bu iyileştirme kompoziti oluşturan matris ve fiber elemanların analizi ile mümkündür.

Şekil 2' de Polimer kompozit malzemelerde liflerin ve reçinelerin çekme uzama eğrileri ile bu malzemelerin bileşimlerinden oluşan kompozit malzemenin çekme uzama eğrisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Polimer kompozit malzeme gerilme gerinim eğrisi [9]

El yatırması yöntemi ile hazırlanacak bileşimlerde lif ve reçine oranı ayarlanırken malzemeden istenecek mukavemet değeri için lif miktarına ve reçine oranına dikkat edilmesi gerekmektedir.

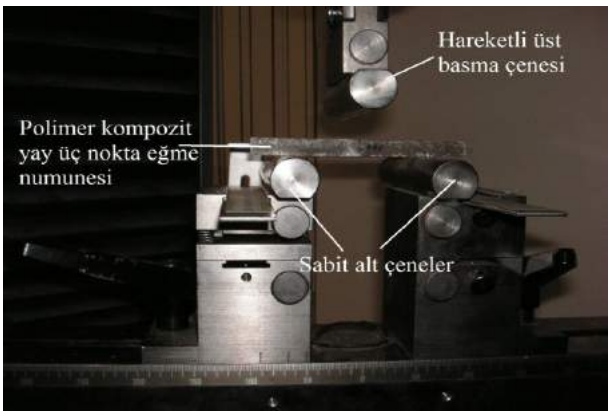
Bu çalışmada yapılan el yatırması yöntemi ile çeşitli bileşimlerde numuneler elde edilmiştir. Çizelge 1' de elde edilen numunelere ait bileşimler gösterilmiştir.

2.2. Deneysel Çalışma

Üç nokta eğme deneyi ASTM D 2344 standardı temel alınarak Şekil 3' de gösterilen deney düzeneğinde Zwick/Roell Z050 deney cihazı kullanılarak yapılmıştır. Deneyde polimer kompozit yaprak yay numunesi sabit alt çenelere yerleştirilir ve hareketli üst çene ile kuvvet uygulanır.

Çizelge 1 Numune bileşim özellikleri

Malzeme Adı ve Kodu	Cam Fiber Hacmi	Cam-Fiber Kombinasyonu
Numune 1 (N1)	%36	Cam elyaf Keçe (4 kat) Çok Uçlu Fitil
Numune 2 (N2)	%38	Çok Uçlu Fitil
Numune 3 (N3)	%41	Cam Dokuma (4 kat) Cam Elyaf Keçe (8 kat)
Numune 4 (N4)	%42	Cam Elyaf Keçe (8 kat) Çok Uçlu Fitil
Numune 5 (N5)	%40	Cam Elyaf Keçe (8 kat)



Şekil 3. Üç nokta eğme deneyi düzeneği

3. Deneysel Sonuçlar

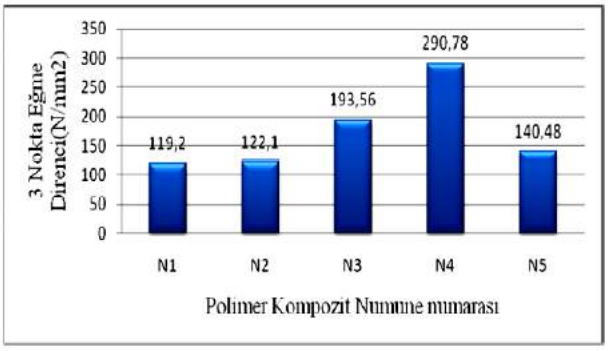
Yapılan üç nokta eğme deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar Şekil 4' de verilen grafikte görülmektedir. Grafiğe göre üç nokta eğme gerilmesi altında Yapılan deneylerde 4 kat cam elyaf keçe ve çok uçlu fitilden oluşan (N1) numunede üç nokta eğme dayanımının 119,2N/mm2 olduğu, Çok uçlu fitilden oluşan (N2) numunede üç nokta eğme dayanımının 122,1N/mm2 olduğu, 13 kat cam elyaf keçeden oluşan (N5) numunede üç nokta eğme dayanımının 140,48N/mm2 olduğu, 4 kat cam dokuma-8 kat cam elyaf keçe oranına sahip numune olan N3 numunesinin üç nokta eğme dayanımının 193,56 N/mm2 olduğu, en yüksek mukavemet değerine 290,78 N/mm2 ile 6 kat cam elyaf keçe-çok uçlu fitil (N4) numunesinin sahip olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen üç nokta eğme dayanım değerlerine fiber oranının ve yapının bileşim özelliklerinin (cam elyaf türü ve açısı) etki ettiği tespit edilmektedir.

4. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Analiz

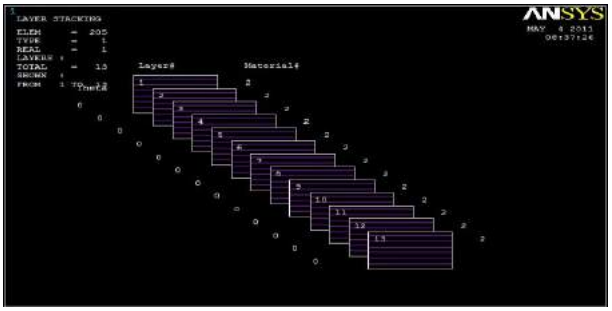
Farklı tabaka sayıları ve farklı konumlanmalar ile oluşturulan polimer kompozit yaprak yay elemanlarının basma yükleri karşısında göstermiş oldukları davranışlar üç nokta eğme deneyi ile karşılaştırmak için ANSYS 12 paket programı kullanılarak incelenmiştir. Bu bölümde yapılan analiz anlatılmıştır.

Öncelikle programa Solidworks programı aracılığı ile çizilen yaprak yay modeli ANSYS programına uygun kaydedilerek aktarılmıştır. Sonrasında tabakalı kompozit malzemelere uygun eleman tipi belirlenmiş ve eleman tipi olarak solid layered46 eleman tipi seçilmiştir.

Eleman tipi seçiminden sonra kompozit analizlerinde en önemli kısmı teşkil eden tabakalı yapının Şekil 5' de gösterilen (oryantasyon), kalınlık bilgilerini içeren menüden tek tek her numune için kalınlık ve yönleme seçimi yapılır.

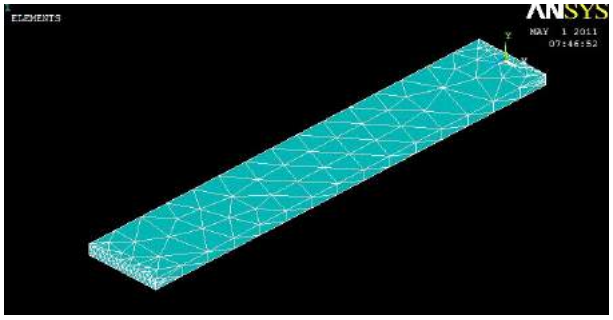


Şekil 4. Üç nokta eğme deneyi sonuç grafiği



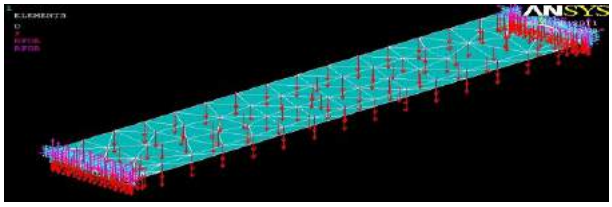
Şekil 5. Tabakaların örnek gösterimi

Malzemeye ait mekanik özelliklerin değerleri girilerek malzeme mesh yapılır (Şekil 6) ve basma yükü uygulanarak gösterilen davranış incelenir.



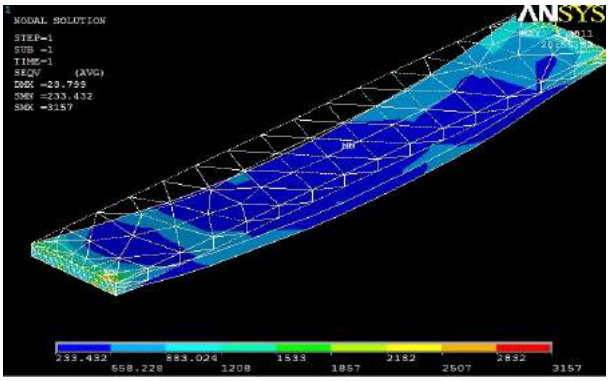
Şekil 6. Polimer kompozit yay'ın mesh uygulanmış görünümü

Malzemeye yük uygulanmadan önce Şekil 7' de gösterilen polimer kompozit yaprak yay sınır şartları girilir y ekseninde negatif (-) yönde kuvvetler uygulanır, diğer yönler sabitlenir.

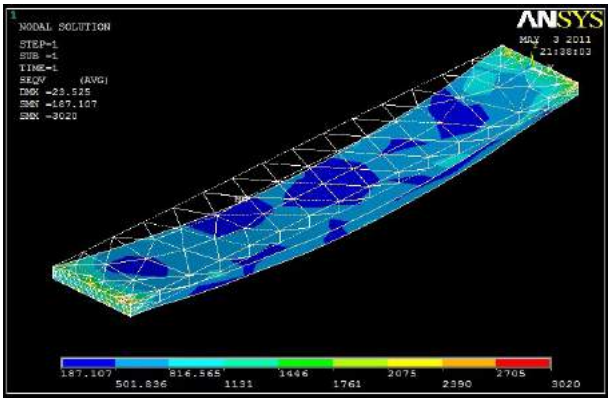


Şekil 7. Yay sınırları ve yük uygulama yönü

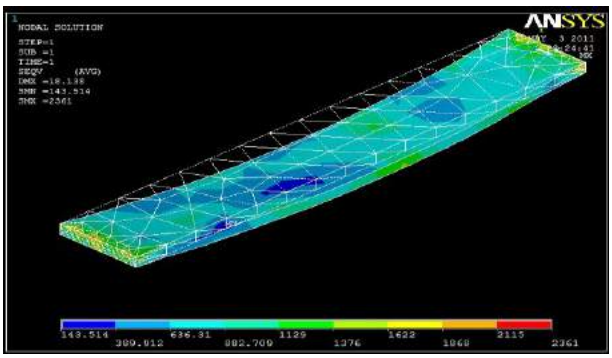
Sınır şartları girilip yükleme yapıldıktan sonra solve yapılır ve read results menusünden last set yapılıp, plot result > nodal solition menüsünden von mises gerilmesi incelenir. 5000 N yük altında oluşan von misses gerilmeleri (Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12)



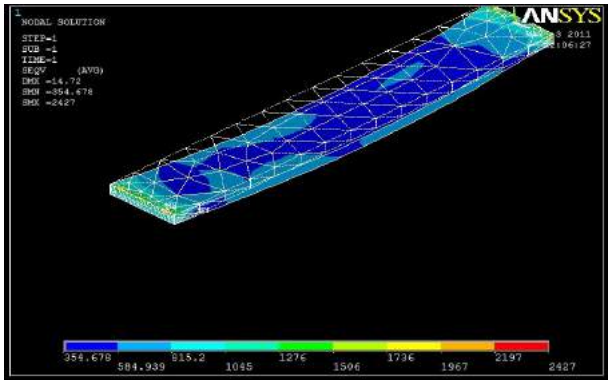
Şekil 8.N1 kodlu bileşim



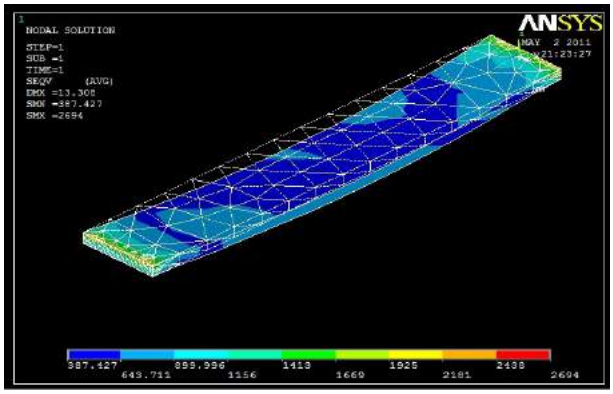
Şekil 9. N2 kodlu bileşim



Şekil 10. N3 kodlu bileşim



Şekil 11.N4 kodlu bileşim



Şekil 12.N5 kodlu bileşim

5.Tartışma ve Sonuç

ANSYS analizi sonucu 5000N yük uygulanarak oluşan değerler de (Şekil 10) en az gerilme 0-90° açıya sahip cam elyaf dokuma kompozit (N3) numunede 2361N olarak gözlenmiştir, daha sonra sırası ile cam elyaf keçe ve fitilden üretilen (N4) numunede 2427N olarak ve 13 kat cam elyaf keçe kullanılan (N5) numaralı numunede 2694N olduğu, oluşan en yüksek gerilmenin fiber oranı en düşük olan numunede (N1) 3157N olduğu görünmüş buda fiber oranının azaldığında mekanik dayanımdaki azalmaya olan etkisi görülmüştür.

Yapılmış olunan üç nokta eğme deneyi ile ANSYS analizi sonuçları gerilme dayanımı olarak paralellik göstermiştir. N1 numunesi 3 nokta eğme deneyinde en az mukavemete sahip olduğu gibi en yüksek gerilme oluşumu ve dayanıksızlık bu numunede gözlemlenmiştir. Aynı zamanda N3 ve N4 kodlu numuneler 3 nokta eğme deneyinde olduğu gibi diğer numunelerden daha yüksek dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda üretim yöntemi, kullanılan reçine türü değiştirilebilir ve reçine türü değişiminin mekanik etkilerine bakılabilir, ayrıca yoğunluk ve tipleri daha farklı cam elyaf türleri ile üretim yapılarak karşılaştırma yapılabilir, karbon ve aramid elyaf tipleri ile de kıyaslatılabilmesi mümkündür. Sonlu elemanlar analizi ile farklı yükleme özellikleri ve ağ yapısı denenerek farklı sonuçlar elde edilebilir.

Kaynaklar

[1] Düven E., “Taşıtlar için aktif süspansiyon sistemlerinin geliştirilmesi”, Doktora tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 6-7, 11-12, 31-40, 2007.

[2] Al-Qureshi H. A., “Automobile leaf springs from composite meterials’’,Journal of Materials Processing Technology, 118 (1-3): 58-61, 2001.

[3] Sugiyama H. , Ahmed A. S. , Mohamed A. O. and Loh W. Y., “Development of nonlinear elastic leaf spring modelfor multibody vehicle systems’’, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., , Caterpillar Inc., Technical Center, Ford Motor Company, 195 (50-51): 6925-6941, 2006.

[4] Ersoy H.Y., “Kompozit malzeme’’, Literatür Yayıncılık Dağıtım Pazarlama San. ve Tic. Ltd. Şti., İstanbul, Türkiye, 227, 2001.

[5] Yağcı E., “Tabakalı kompozit ince plakların plak düzlemine dik yükleme etkisi altındaki eğilme analizi’’, Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 5-6, 2007.

[6] Daniel I. M. and Ishai O., “Engineering mechanics of composite materials’’, Oxford University Press, NewYork 1-20, 1994.

[7] Sakin R., “Düzlemsel rastgele dağılımlı keçe elyafla takviyeli kompozit malzemede kırılma tokluğunun elyaf hacmi, elyaf yönlenmesi ve deformasyon hızı ile değişiminin saptanması”, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 10-13, 58-60, 1994.

[8] Alnak Y., “Fiber takviyeli kompozit malzemelerde interlaminar kayma gerilmelerinin nümerik analizi ve dört noktadan eğme testi ile interlaminar kayma mukavemetinin belirlenmesi’’, Yüksek lisans tezi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas, 4-7, 20-2, 2007.

[9] İşman N. Y., “Polyester dokuma kumaş takviyeli kompozit malzemelerin darbe ve eğilme davranışının incelenmesi’’, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 3-5, 2010.

DÖNEL EĞMELİ YORULMA TEST CİHAZININ TASARIMI VE ÜRETİMİ

DESIGN AND MANUFACTURING OF ROTATING BAR BENDING FATIGUE TEST MACHINE

Emre KÜÇÜK [a*], Sait ÖZÇELİK [a], Kerem Ali BAKACAK [a], Yavuz SUN [a] ve Hayrettin AHLATCI [a]
[a*] Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, Karabuk Türkiye
E-mail: emre777@hotmail.com.tr; ysun@karabuk.edu.tr; hahlatci@karabukedu.tr

Özet

Yorulma mukavemeti, günümüzde kullanılan tüm malzemeler için önemli bir kriter haline gelmiştir. İlk başlarda malzemelerin statik olarak taşıdıkları yükleri servis şartlarında taşıyamadıkları göze çapmıştır. Bu durum "çevrimli yükleme" olgusunun literatüre girmesine sebep olmuştur. Çevrimli yüklemeler, malzemenin yüzeyinde bir çatlak oluşturarak ya da mevcut bir süreksizlikten faydalanarak hasara sebep olurlar. Yorulma mukavemetinin belirlenmesinde bir çok test yöntemi ve cihaz mevcuttur. Bunların tamamı belirli bir yükün, farklı şekillerde, tekrarı esasına dayanmaktadır. Uygulanan testler arasında en az maliyetli ve en basit olan yöntem dönel eğmeli yorulma testidir.

Bu çalışma kapsamında muhtelif araştırmalarda kullanılmak üzere R.R. Moore tipi bir yorulma test cihazının tasarımı ve mevcut imkanlarla imali anlatılmaktadır. Cihaz 1.5hp gücünde bir motorla dönme hareketini gerçekleştirebilmekte ve maksimum 5000 devir/dakika hıza ulaşabilmektedir. Cihaz üzerinde bulunan sürücü ile hız ayarlamaları da yapılabilmektedir. Numunenin çevrim sayısı ise cihaz üzerindeki elektronik sayaç vasıtasıyla kaydedilmektedir. Farklı boylarda numunelerin bağlanabilmesi için lineer kızak sistemi ve parça kırıldığında cihazı otomatik olarak durdurabilecek bir mekanizma mevcuttur. R.R. Moore tipi yorulma test cihazında var olan terazi tipi yükleme sistemlerinin aksine bu cihazda yük hücresi kullanılarak daha hızlı ve doğruluk oranı daha yüksek testler yapılabilmektedir.

Anahtar kelimeler:.Yorulma, Dönel eğmeli yükleme, R.R.Moore,

Abstract

Fatigue strength used nowadays for all materials has become an important criterion. At first, materials, they carry the static applied loads, were observed to withstand these loads in service conditions. In this case concept of "loading cycle" has led to the introduction into the literature. Cyclic loading can cause damage by creating fracture on the surface of the materials or benefiting from an existing discontinuities. There are many machine and method for determining the fatigue strength. All of them is based on repetition of a load in different ways. Rotating bar bending test among the tests used is low cost and most simple method.
In this study, design and manufacturing of R. R. Moore type fatigue test device used in various studies are described with existing facilities. The device can perform rotational motion by A motor with 1.5 hp and can reache a speed of maximum of 5000 rev / min. Speed adjustment can be made with the drive on the device. The number of cycles is recorded simple by electronic meters on the device. Linear slide system has been established to test sample of different sizes on the device. In addition, a mechanism automatically stopped when specimen broken is available on the device. In the designed device more accurate and faster tests can be done using load cell in contrast to existing scale type loading system in R. R. Moore-type fatigue testing devices.

Keywords: Fatigue, R.R.Moore, Rotating bar bending loading

1. Giriş

Yorulma tekrar eden sekil değiştirme ve gerilmelere maruz kalan malzemelerde meydana gelen, ilerleyen yerel ve sürekli yapısal bir değişimdir. Belirli bir devir sayısından sonra çatlama ve kırılma ile ortaya çıkar. Yorulma kırılmaları plastik sekil değiştirme, çekme gerilmesi ve çevrimli gerilmenin aynı zamanda tesiri ile meydana gelir [1-6]. Bu nedenle bu üç faktörden herhangi birinin olmaması halinde yorulma çatlakları oluşmayacak ve ilerlemeyecektir [7]. Çevrimli gerilme ve sekil değiştirme çatlaklarının ilerlemesinde etkili olurlar. Buna göre yorulma süreci üç safhadan ibarettir;

- Çatlağın başlamasına yol açan başlangıç yorulma hasarı,
- *Çatlağın ilerleyerek, kalan kesitinin uygulanan yükleri taşıyamayacak kadar zayıflaması,
- Kalan kesitinin ani olarak kırılması,

Yorulma deneyinde kullanılan cihazlar çok çeşitli olmalarına rağmen, bu cihazları numuneye uyguladıkları gerilme türleri açısından 3 ana grupta toplamak mümkündür. [8]

Eksenel çekme-basma gerilmeleri uygulayan cihazlar
1) Eğme gerilmeleri uygulayan cihazlar
   Düzlemsel eğme gerilmesi uygulayanlar
   Dönel eğme gerilmesi uygulayanlar
2) Burma gerilmesi uygulayanlar
3) Bileşik gerilme uygulayan cihazlar

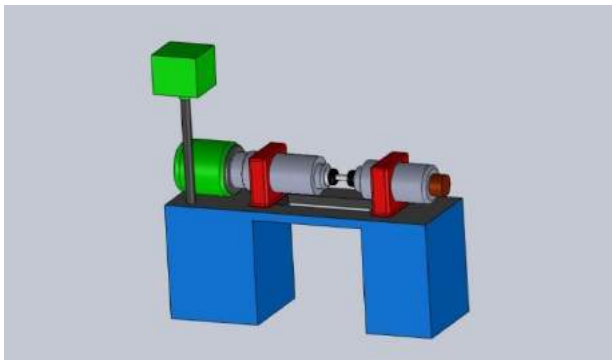
Bu çalışmada boyutları farklı numunelerin tek bir cihazda testinin uygulanmasına izin veren bir yorulma test cihazının tasarlanması amaçlanmıştır.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

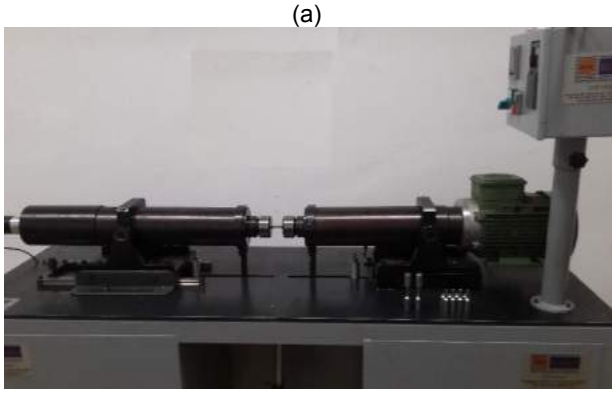
2. Yorulma Test Cihazının Tasarımı Ve Üretimi

Tasarımı yapılan makine yukarıda bahsedilen yorulma cihazı türlerinden eğme gerilmesi uygulanan cihazlar kategorisine girmektedir. Bu cihaz, özel R.R.Moore tipi olarak ta adlandırılmaktadır.

Makine genel olarak Şekil 1'de tasarım çizimi görülen parçalardan oluşur Genel çalışma prensibi olarak tahrik kaynağı bir motor, motor vasıtasıyla dönen 2 pens ve bu penslere bağlı bir numunenin ağırlık etkisi verilerek yorulma deneyinin gerçekleştirilmesi sağlanır. Ayrıca bu parçalara ek olarak; çevrim sayısını ölçen bir sayaç, ağırlık takımının motorun çalışmasını etkilememesi için kullanılan yaylı bir kaplin bulunmaktadır. Bu kaplin esnek çalışma şartlarına müsade ettiği için motor ile pensler arasında açılı harekete olanak sağlar. Motor yüksek devirlerde çalışacağı için yorulma deney parçasının kopmasından sonra motoru durduracak bir düzenek yerleştirilmiştir. Ağırlık takımları 70 kg'a kadar yük kaldırabilmektedir, dolayısıyla sistemi oluşturacak parçalar bu ağırlığa dayanım gösterebilecek şekilde tasarlanmıştır.



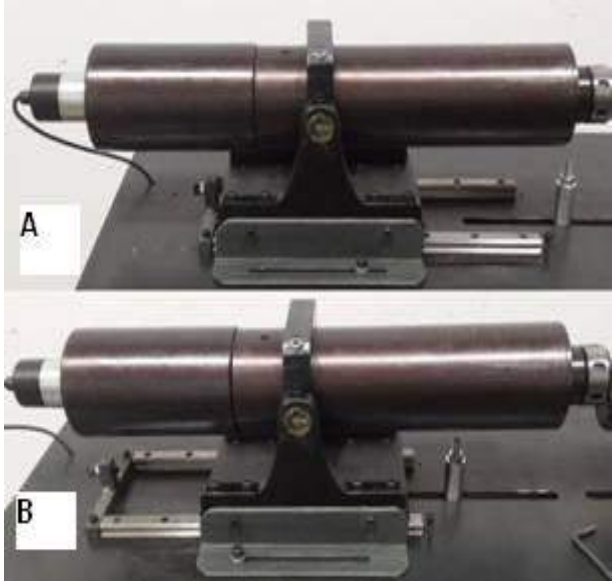
(a)



(b)

Şekil 1. Dönel eğmeli yorulma cihazının (a). Tasarım çizimi ve (b) imalat görünümü.

Cihaz tasarlanırken en çok önem verilen husus ise tek tip numuneye bağlı kalmama şartıdır. Cihazın mesnetleri altındaki lineer kızak sistemi sayesine 0-150 mm aralığında hareket kabiliyeti vardır (Şekil 2). Ayrıca cihazın tutucu aparatı olan pens takımları da değişebildiğinden ihtiyaca göre farklı ölçülerde pens takımları da kullanılabilmektedir. Bu sayede cihazımız hem numune boyu hem de numune çapı olarak araştırmacılara geniş bir ölçü yelpazesi sunmaktadır.

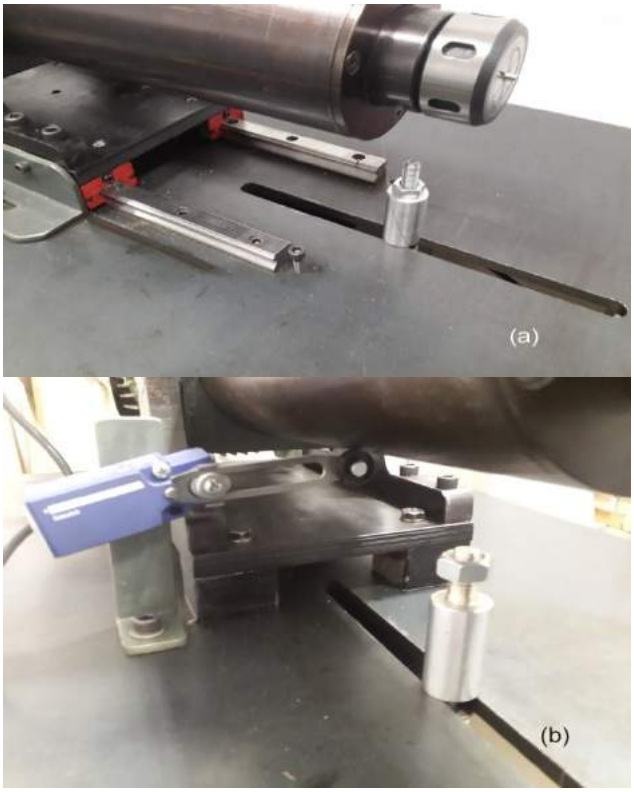


Şekil 2. Farklı numune boylarına müsaade eden lineer kızak sisteminin (a) açık ve (b) kapalı hali.

Şekil.3. Dönel eğmeli yorulma cihazı üzerine monte edilmiş fener milleri.

Cihaz üretimi ilk olarak fener mili imalatı ile başlamaktadır. Çünkü cihazın numuneye uyguladığı yükü çeken ve tam olarak doğrusal olması gereken bir yapı elemanıdır. Fener milleri 4140 kalite çeliğinden imal edilmiş ve bir muhafaza içinde mesnetlere bağlanmıştır. Fener millerine hız rulmanları ile hareket kabiliyetleri kazandırılmıştır. Söz konusu rulmanlar 5000-6000 devir/dakika hızlara kadar dayanıklıdır. Şekil 3'de görüldüğü gibi fener milleri muhafazaları içine yerleştirildikten sonra cihazın tablası üzerine mesnetlerle monte edilmiştir. Fener millerinden bir tanesine motor, diğerine de sayaç-stop sistemi bağlanmıştır. Bu sayede (Şekil 4) cihaz üzerine konulan, numune kırıldığında sistemi otomatik olarak durdurur, sistem çalışmadığı takdirde de doğru çevrim sayısı değerleri elde edilebilmektedir.

Ayrıca cihazda tek bir hız yerine farklı hızlarda test yapabilmek için de Şekil 5'te görülen sürücü adı verilen bir cihaz kullanılmıştır. Bu cihaz sayesinde motorun frekansı ayarlanarak test hızında değişikliler yapmak mümkün olmaktadır.



Şekil 4. (a) Fener Mili muhafazası ve (b) stop sistemi.

Şekil 5. Cihazın panosu üzerinde sayaç ve sürücü.

Cihazda yapılan "Mantarı Sertleştirilmiş Raylarda Yorulma Davranışı İncelenmesi" konulu çalışma neticesinde de cihazın güvenilir sonuçlar verdiği görülmüştür. Tablo 1'de görüldüğü gibi belirli bir gerilmede yapılan birden fazla ölçüm arasında standart sapmanın oldukça düşük olduğu gözlenmektedir.

3. Sonuç

Bu çalışmada metalik malzemelerin yorulma olayı, yorulma deneyi türleri ve cihazları incelenmiş, demir ve demir dışı malzemelerin yorulma deneylerini yapmak üzere opsiyonel bir yorulma deney cihazı dizayn edilmiş ve üretilmiştir. Literatürde yer alan öneriler dikkate alınarak imal edilmiş olan dönel eğmeli yorulma cihazı ile gerçekleştirilen ilk deneysel sonuçlar arasında yapılan incelemelerde sonuçların standart sapmasının % 5'in altında olduğu görülmüştür.

Tablo 1. Farklı yüklemelerde elde edilen çevrim sayıları [9]

Ray Cinsi	Gerilme (MPa)	Çevrim Sayısı (N)				
		1. Ölçüm	2. Ölçüm	3. Ölçüm	Ortalama	Standart Sapma (%)
R260	724	129900	121040	130200	127046,7	4
	632	299030	306460	300010	301833,3	1
R350 HT	882	400000	380000	370000	383333,3	3
	922	217130	210000		213565	2

Teşekkür

Bu çalışmada KBÜ-BAP--13/2-DS-048 Nolu "Mantarı sertleştirilmiş raylarda yorulma davranışı incelenmesi" konulu projesiyle ve 2209-A programı kapsamında bize destek sağlayan sırasıyla Karabük Üniversitesine ve TÜBİTAK'a, makinenin tasarım ve imalat aşamalarında bizden hiçbir yardımı esirgemeyen MANKSAN AMORTİSÖR SAN. TİC. AŞ'ye, maddi ve manevi olarak bize her konuda yardımcı olan İDRİS KÜÇÜK ve ZÜLFİ YILMAZ'a teşekkürü bir borç biliriz.

Kaynaklar

[1] Tauscher, H., (1983). Çelik ve Dökme Demirlerin Yorulma Dayanımı, Biçim Etkisi ve Hesaplama Yöntemleri, MBEAE MATBAASI, Gebze; Güleç, Ş. ve Aran, A.
[2] Kayalı, E.S., Ensari, C., ve Dikeç, F., (1990). Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, 6/1990, İTÜ Kimya Metalürji Fakültesi Ofset Atölyesi. İstanbul
[3] Peapegem, W.V. ve Degrieck, J., (2001). "Experimental Setup and Numerical Modelling of Bending Fatigue Experiments on PlainWoven Glass/Epoxy Composites", Composite Structures, 51(1): 1-8.
[4] Uysal, E., (2003). Sürtünme Kaynağı ile Birleştirilmiş AISI 4340 Çeliği ile Paslanmaz Çeliklerin Yorulma Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elezığ.
[5] Kumru, N., (2005). "Metalik Malzemelerde Yorulma Dayanımını İncelemek İçin Kullanılan Yorulma Makineleri", Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, 1(4): 58-70.
[6] ISO 1143, (2010). Metalic Materials – Rotaing Bar Bending Fatigue Testing, ISO, 2. Baskı, Switzerland.
[7] Somamyo.cbu.edu.tr/docs/dergi/sayi4/4sayi7.pdf
[8] www.mf.hitit.edu.tr/mak/belgeler/Yorulma_Deneyi_2012.pdf
[9] Özçelik,Sait Mantarı sertleştirilmiş raylarda yorulma davranışının incelenmesi , Yüksek Lisans Tezi YTÜ.

HALKA/ABRASİV TAMBUR ÜZERİNDE BLOK/PİN AŞINMA CİHAZ TASARIMI VE İMALATI

RING/ABRASIVE DRUM ON THE BLOCK/PIN WEAR DESIGN AND MANUFACTURING EQUIPMENT

Öznur ŞİŞMAN [a] Onur ÖZER [a], Ahmet KELEŞ [b],Yiğit GÜMÜŞBOĞA [c], Emre TABAN [d], Yavuz SUN [a], Hayrettin AHLATCI [a]

[a] Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi, E-mail onurozer17@gmail.com; ysun@karabuk.edu.tr; hahlatci@karabuk.edu.tr

[b] İmalat Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi

[c] Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi

[d] Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Karabük Üniversitesi

Özet

Aşınma sürtünen yüzeylerde malzeme kaybı olarak tanımlanır. Aşınmayı tamamen önlemek ise olanaksızdır. Aşınma büyük ekonomik kayıplara neden olduğundan üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Malzemelerin aşınma mekanizmaları, adhesiv, abrasiv, erozif ve korozyonlu aşınma şeklindedir. Her bir aşınma testi farklı cihazlar yardımı ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada bu aşınma mekanizmalarının hepsinin birden test edilebiliceği tek bir cihazın tasarımı ve imalatı yapılmıştır. Tasarlanan aşınma cihazında 2.2 KW'lık, 1450 d/dk'lık ve 0.25 KW'lık 915 dev/daklık üç faz ile çalışan alternatif akım motorları, 2.2 ve 0.4 KW'lık inverterler, hareketin otomatik olarak sonlandırması için spiral plastik yay tahrikli limit switch, karşı malzeme olarak dolu halka blok, aşındırıcı kaplı tambur kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: Aşınma, triboloji, tasarım, imalat,malzeme kaybı.

Abstract

Wear is defined as the loss of materials at the rubbing surfaces It is impossible to completely prevent wear. Wear causes huge economic losses so intensive research is being conducted in Wear. Wear mechanisms of materials are adhesive, abrasive, erosive and corrosive wear shape. Each abrasion test can be performed with the aid of different devices. All of the wear mechanism in this study may be tested once the design and manufacture of a single device is made. In this study, three-phase alternating current motors working at 2.2 KW-1450 rev/min and 0.25 KW-915 rev/min, inverters with 2.2-0.4 KW, spiral plastic spring actuated limit switches for wear process automatically terminated, abrasives coated drum and metal block as counter device is used.

Keywords: Wear, tribology, design, manufacturing, material loss,

1. Giriş

Aşınma, birbirine temas eden ve birbirine göre izafi hareket yapan cisimlerden sürtünme etkisiyle oluşan malzeme ve kütle kaybıdır. Aşınma triboloji biliminin bir konusudur [1-4]. İçinde aşınma ve sürtünme olaylarının gerçekleştiği teknik sistemlere tribolojik sistem denilmektedir.Mühendislik malzemelerinin sürtünme ve aşınma davranışlarının araştırılmasında mekanik sistemleri bir tribolojik sistem olarak dikkate almak gerekir [5, 6]. Sürtünme ve aşınmaya maruz uygulama alanlarında yaygın bir şekilde gözlenen, abrasiv, adhesiv, kazıma, erozyon ve yorulma aşınması gibi beş ana aşınma çeşidi vardır. Abrasiv aşınma tüm aşınma maliyetinin yaklaşık % 63'ünü oluşturur. Abrasiv aşınma, sert partiküllerin veya sert çıkıntıların katı bir yüzey boyunca hareket etmesi ve önüne çıkan engellere karşı koyması sonucunda oluşur [7, 8].

Bu çalışmada, farklı parametreler (atmosfer, uygulanan yük, kayma/ilerleme hızı, karşı malzeme vb.) altında aşınma miktarının ölçümü için halka/abrasiv tambur üzerinde blok/pin (block/pin on ring/abrasive wheel) aşınma test cihazının tasarımı ve imalatının yapılması amaçlanmıştır. Halka üzerinde blok aşınma test cihazı metallerin aşınma davranışlarının belirlenmesinin yanısıra ISO 4649 Standardında belirtildiği gibi kauçuk-elastomer malzemelerin sürtünmeye karşı dayanıklılıklarının tespit edilmesi için de kullanılmaktadır.

2. AŞINMA CİHAZI TASARIMI ve İMALATI

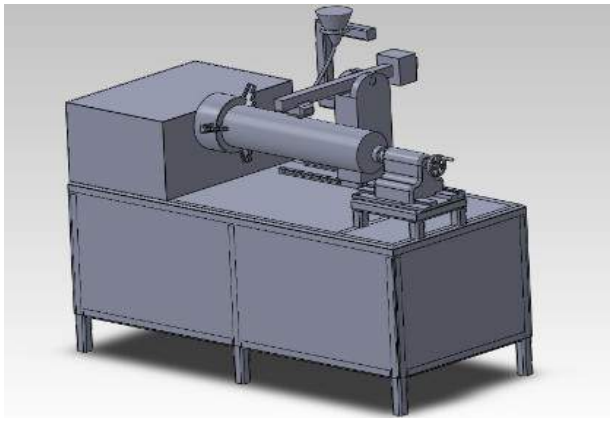
Bu çalışmada birçok malzeme çeşidinin aşındırılmasına olanak sağlaması açısından halka/abrasiv tambur üzerinde blok/pin aşınma modeli seçilerek tasarım (Şekil 1) ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımda halka üzeri blok aşınma tasarımı kuru ve yaş adhesiv tipi aşınma testi için tasarlanırken tambur üzeri pin aşınma tasarımı abrasiv aşınma testleri için gerçekleştirilmiştir.

Adhesiv aşınma için karşı malzeme olarak 30-100 mm aralığında çapa sahip 500 mm uzunluğunda dolu malzeme ve/veya 150 mm çapında ve 500 mm uzunluğunda 3 mm kalınlığında sac tambur kullanılır. Tambur üzerine 40-200 mesh partikül boyutuna sahip Al_2O_3 zımpara ve kauçuk kaplanarak sırası ile abrasiv ve erozif aşınma işlemi gerçekleştirilirken dolu malzeme üzerinde adhesiv aşınma testi yapılmaktadır (Şekil 2).

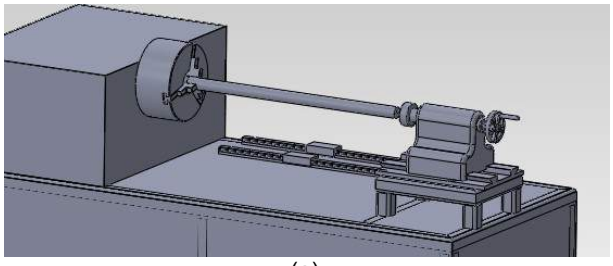
Pin veya blok şekilli aşındırılan malzeme, dolu halka ve kauçuk kaplı halka üzerinde sabit konumda iken zımpara ile kaplı tambur üzerinde sürekli temiz zımpara yüzeyine

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

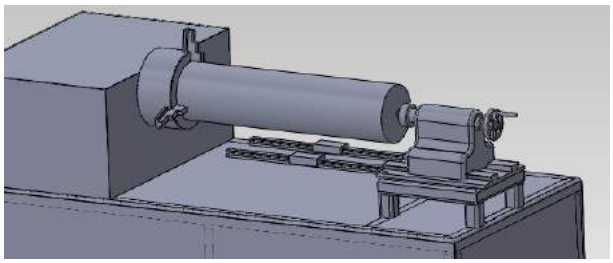
temasın gerçekleştirilmesi için yatay eksende hareket halindedir. Sabit konum veya yatay eksende ilerleme hareketi, numune tutucu kolun, altına yerleştirilen motor zorlamalarına karşı hassas lineer kızakla (Şekil 2c) kolaylıkla sağlanmaktadır. Aşınma işlemini otomatik olarak sonlandırması için spiral plastik yay tahrikli limit switch kullanılmıştır (Şekil 2d). Zımpara üzerinde alınan yol yaklaşık 25m'dir. Cihazın gövdesine yerleştirilen inverterler ile kayma/ilerleme hızı kullanıcı kontrollüdür.



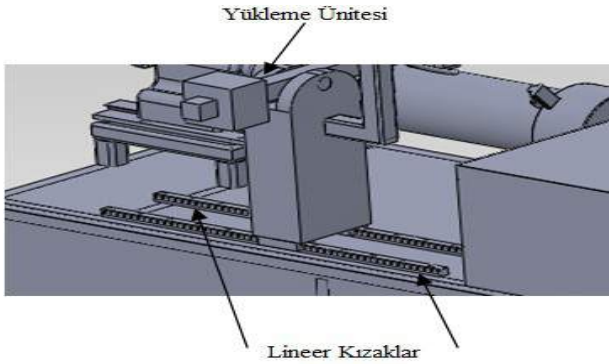
Şekil 1. Halka/abrasiv tambur üzerinde blok/pin aşınma cihazının tasarım çizimi.



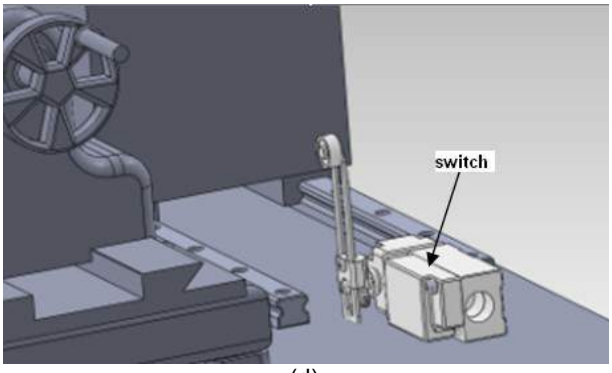
(a)



(b)



(c)

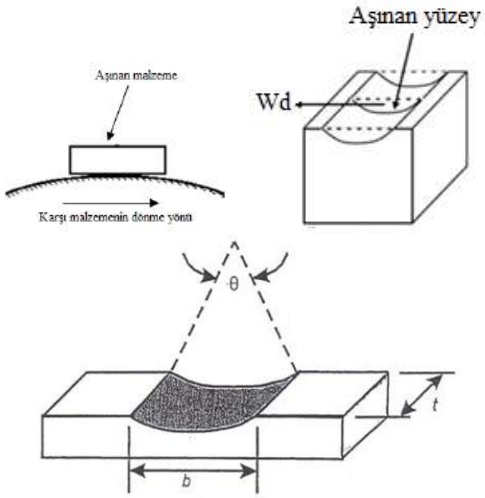


(d)

Şekil 2. Karşı malzeme olarak a) metalik dolu malzeme, b) zımpara ile kaplı tamburun şematik görünümü, c) Numune tutucunun hareketini sağlayan lineer kızak ve (d) Spiral plastik yay tahrikli limit switch.

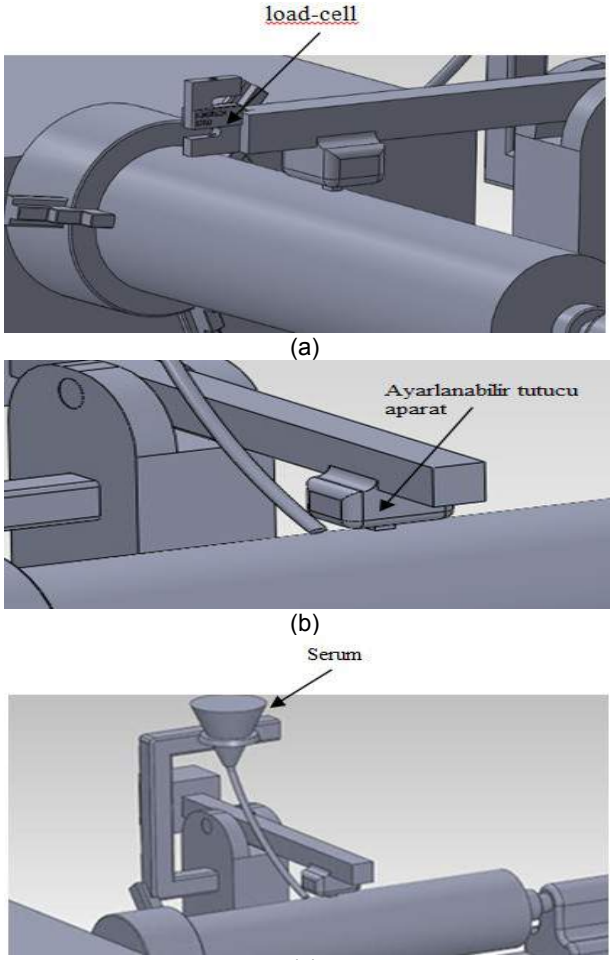
Tasarlanan aşınma cihazında başlangıçta çizgisel olan aşınma izi zamanla düşük açılı bir yay şeklini almaktadır (Şekil 3). Aşınma deneyleri neticesinde aşınma miktarı, hassas (10^{-4} g hassaslığında) elektronik terazi yardımı ile kütle kaybı olarak belirlenir. Alternatif olarak Denklem (1) yardımı ile aşınma iz hacmi hesaplanabilmektedir (Şekil 3).

$$Aşınma\ iz\ hacmi = \frac{D^2 t}{8}\left[2\sin^{-1}\frac{b}{D} - \sin\left(2\sin^{-1}\frac{b}{D}\right)\right] \quad (1)$$



Şekil 3. a) Aşınan malzemenin karşı malzeme ile teması b) aşınma sonucu numunede oluşan iz ve c) oluşan izin ölçülerinden aşınma hacminin ölçümü (D: blok çapı)

Ayrıca aşınmayı değerlendirmek için numunenin bağlandığı eksene dik olarak yükleme çubuğuna monte edilen bir load-cell sistemi ile sürtünme katsayısı verileri ölçülmektedir (Şekil 4a). Ayarlanabilir tutucu aparatlar (Şekil 4b) sayesinde 15x20x500 mm ebatlarında dikdörtgen şekilli blok veya 10 mm çapında 400 mm yüksekliğinde silindirik şekilli numunelerin aşınma deneyleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Cihaza bağlanan çıkışı huni şekilli hazne yardımı (Şekil 4c) ile kuru/sulu kum (SiO2) veya korosif bir çözelti akıtılarak elde edilen bu ortamlardaki aşınma davranışı da incelenilmesi tasarlanmaktadır. Değiştirilebilir ağırlıklar aracılığıyla 10 N ile 100 N arası baskı kuvveti uygulanabilmektedir.



Şekil 4: a) Aşınma sırasında oluşan sürtünme kuvvetlerinin ölçümü için load-cell, b) Ayarlanabilir tutucu aparat ve c) Çıkışı huni şekilli hazne.

3. Sonuç

Bu çalışma sayesinde birden fazla cihazın yapabileceği işleri tek bir halka/abrasiv tambur üzeri blok/pin aşınma test cihazıyla yapabilmenin yanı sıra, laboratuar alanında cihazların kapladıkları yer bakımından bir kazanım sağlanır. Ayrıca maliyet açısından da düşünülünce önemli bir katkı sunmaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma 2012 yılında TÜBİTAK(BİDEP 2209) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Malzeme Bilimi, Kaşif Onaran, Bilim Teknik Yayınevi,2000
[2] Malzeme Bilimine Giriş, Sofoğlu, R. A., İstanbul Teknik Üniversitesi.
[3] Malzemelerin Yapı ve Özellikleri, Kaşif Onaran, Erman, B.,
[4] http://tr.wikipedia.org/wiki/A%C5%9F%C4%B1nma
[5] Neale, M. J., M. Gee, Guide to wear problems and testing for industry, William Andrew Publishing, New York, USA, (2001).
[6] Standart terminology relating to wear anderosion, Annualbook of standarts, ASTM, p.43-250, (1987).
[7] Odabas, D., Topal, E.S., 100Cr6 Çeliginin_ki Cisimli Abrasif Asınma Davranısının Kuru veya Sıvı Sürtünme Sartlarında Deneysel Arastırılması, PA.Ü. Mühendislik Fakültesi, 6. Denizli Malzeme Sempozyumu, s. 396-405, (12-14 Nisan 1995)
[8] Karamış, M. B., Toprak isleme Aletlerinde is Organının Asınmasının Etüdü, Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi, F.B.E., (1985).

A STUDY ON COMPARISON OF BOLT TENSIONING APPLIED BY CONVENTIONAL TORQUE METHOD AND HYDRAULIC TENSION METHOD

[a] Bilal Mohammed Qasim, [b] Burak Şahin, [c] Mustafa Yaşar, [d] Nihat Yıldırım
[a] Kirkuk University, E-mail: bilal196932@yahoo.com, [b] Gaziantep University, e-mail: burak@gantep.edu.tr,
[c] Karabuk University, e-mail: myasar@karabuk.edu.tr, [d] Gaziantep University, e-mail: nyildir@gantep.edu.tr

Abstract

Bolted assemblies are the most commonly used joints in mechanics, and bolt joint requires preloading to perform its function successfully. Preloading is usually generated immediately after tightening the bolt by conventional torque wrench method. Other than torque wrench method a new method of bolt tightening has been used in industry recently. In this study, an experimental investigation on two types of tightening methods (conventional torque wrench and hydraulic tension) is done. Bolt's behavior during tightening, and advantages-disadvantages of both tightening methods are investigated. The paper comprises two tightening varieties of experiment; static bolt behavior and dynamic bolt behavior in a bolted joint.

Keywords: Bolts, Preload, torque tightening method, Hydraulic tightening method, cyclic load.

1. Introduction

Threaded connection is a popular joining method in modern industries making up nearly 70% of all mechanical connection assemblies in industries worldwide. Although bolted assemblies at first appear very simple in industry, they cause several problems for design engineers; it has been from investigations that up to 90% of bolted joint failures are caused by incorrect initial bolt tightening [1]. There has been different theoretical and experimental work on bolted connections regarding axial [3,4,5,7,9], and translational loading with preloading [2,6,8] The term preload refers to the loading in a bolt immediately after it has been tightened. Thus, it is important to achieve an accurate magnitude of preload during the assembly process for a specific bolt joint.

Bolts are most often constructed of steel. Like most metals, steel is elastic, at least as long as the strain does not exceed the “elastic limit”. Within the “elastic limit”, a metal part such as a bolt follows Hooke’s law, for that reason strain (elongation) is proportional to the stress (load), as shown in the Fig. 1.

Any tightening method of bolts must ensure that the stress in the bolt never exceeds the point “A” (the elastic limit or “yield point” of material), both during the tightening operation and when the assembly is later exposed to external loads during operation.

Six methods can be used to control tightness of a threaded fastener. In the order of increasing accuracy hence increasing costs, the tightening methods are:

- Feel.
- Conventional torque tightening (Torque wrench).
- Turn-of-the-nut.
- Preload indicator washer (PLI).
- Bolt elongation.
- Strain gages.

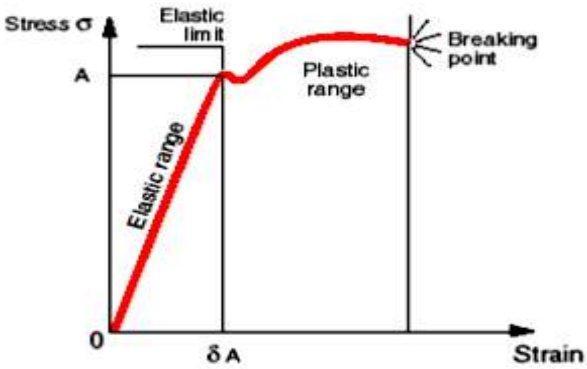


Fig. 1. Stress strain curve

Generally, the more the joint is critical the more the need for higher tightening accuracy for obtaining the right preload magnitude. Although there are different tightening techniques/methods (as seen above) in industry, the conventional torque wrench method is used widely with lots of inaccuracies in both torque applied and the resultant pre-load created within the bolt body. Not only the axial pre-load, but also the axial and torsional stresses created in the bolt body are inaccurate. Whereas new methods like direct (hydraulic) bolt tension does not create any torsional stresses in the bolts and the axial preload created is more accurate compared with the torque wrench method.

Fig. 2. Different diameters of testing bolts

An experimental study with total of nearly 42 bolts, consisting of 8.8 grades and three different diameters (M14x1.5, M16x1.5 and M18x1.5) as shown in Fig. 2 and Fig. 3, was accomplished by using torque wrench and hydraulic tightening methods.

2. Conventional Torque Tightening

The literature shows that the uncertainty associated with use of torque wrench to establish a preload is typically

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

between 10 and 35%. The torque applied to a fastener is absorbed in three primary fields. First, there is under head friction, which may absorb 50 percent or more of the total torque (creating friction scratches on surfaces) as shown in Fig. 4.

Fig. 3. Length of testing bolts

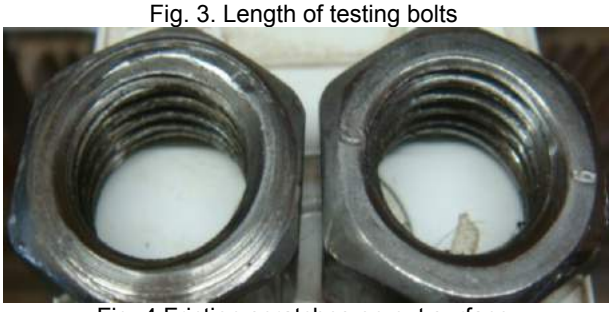


Fig. 4 Friction scratches on nut surface

While thread friction absorbs as much as 40 percent of the applied torque, the final 10 percent of the applied torque only develops the useful clamping force that holds the components together as shown in Fig. 5.

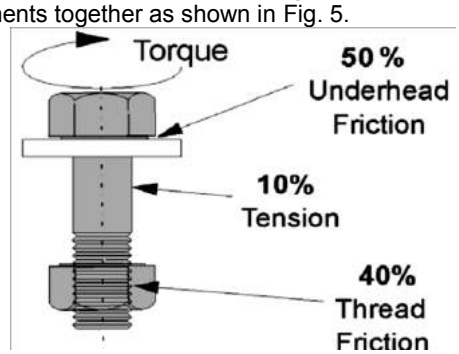


Fig. 5 Torque absorbed by bolt and structure [10]

A basic equation to estimate the torque (T) from a required preload (Fi) is given as:

$$T = K * d * Fi \quad (1)$$

where

$K =$ Nut factor (0.16~0.26)

$d =$ Nominal bolt diameter

The recommended preload values Fi, for either static (stationary) or fatigue (alternating) applications, are usually determined from formulas:

Fi=0.75×At×Sp (Reusable connections) (2)
Fi=0.90×At×Sp (Permanent connections) (3)

In this study, preload applied is 85% of the proof load in external dynamic/fatigue tests/loadings of the bolted connection. In static tests of bolts with no external loading, however, two levels of static preload (85% and 70% of the yield load) are applied to force the limits near yield and proof loads.

Fi=0.85×At×Sy (for static preloading) (4)
Fi=0.85×At×Sp (for ext. fatigue loading) (5)

Sy and Sp are yield and proof strengths of the bolts and given as 660MPa and 600Mpa respectively for grade 8.8 bolts [13].

During torque tightening, axial tensile stress (σt) in bolt generated as a result of axial preload depends on preload magnitude (Fi) and the tensile area (A) of the bolt.

$$\sigma t = \frac{Fi}{A} \quad (6)$$

In addition to the desired axial preload or tension on the bolt, tightening torque (T) applied introduces additional torsional/shear "parasite" stress (τ) in the bolt during tightening. This parasite stress, depending on the connection conditions, can reach up to 30% of the tensile stress. Torsion stress (τ) is calculated from the standart formula;

$$\tau = \frac{16\ T}{\pi d^3} \quad (7)$$

where

d= equivalent diameter against shear stress

The combined equivalent tensile stress (Von Mises stress), as shown in Fig. 6, can be calculated from the following equation:

$$\sigma\ equivalent = \sqrt[2]{\sigma t^2 + 3\,\tau^2} \quad (8)$$

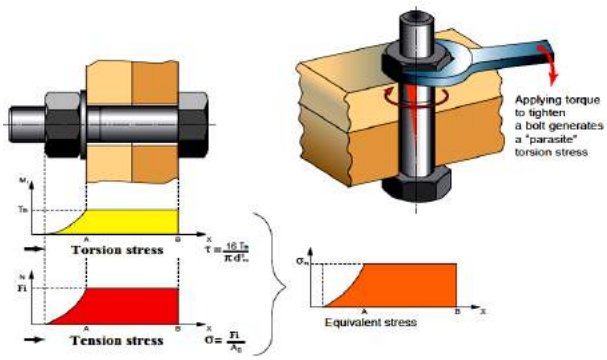


Fig. 6. Total equivalent tensile stress in bolt [10]

Table1 below shows preload and torque values used for M14, M16 and M18 bolts for static preloading only. The property class of the bolts is grade 8.8, and geometry for the bolts are provided in Fig.s 2 and 3. Two different levels of preload were adopted in this study. For M14 and M16 bolts a preload level of 85% of yield strength was targeted. Whereas, 70% of yield strength was used as preload level for M18 bolts. As an example, for M14x1.5 size bolts, with a yield strength of 660MPa, bolt tensile area of 123mm^2 and a target preloading stress reaching nearly 85% of yield strength, the required preload Fi is 68810N and the required torque (T), with nut factor of 0.2, is nearly 173.0Nm

Table 1 Required preload and torque values for static tests (with K = 0.2)

Bolt Size	Preload Fi (N)	Torque (N. m)
M14×1.5	68810	173.0
M16×1.5	92591	270.0
M18×1.5	97222	350.0

3. Tightening by Hydraulic Tension

In addition to the method of torque wrench, a target bolt preload, can easily be achieved by applying a predetermined hydraulic force to the bolt body in axial direction without any torque applied to the bolt. This hydraulic force can be achieved by creating a controlable hydraulic pressure applied to a pre-calculated surface area of a hydraulic jack/cylinder (see Fig. 7).

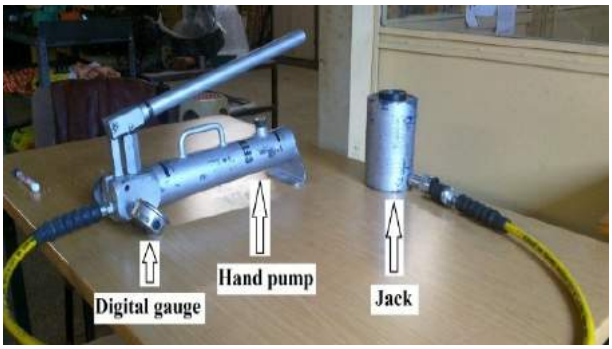


Fig. 7 Hydraulic pump-jack arrangement used in bolt tensioning system

This hydraulic force/load, by means of a suitable mechanism, can be transferred to the snug-tight bolt body stretching it along its axis “with no parasite torsion”. The resulting preload on the bolt body is then directly proportional to the hydraulic pressure applied by the jack. An experimental setup is designed and constructed to apply hydraulic load to the bolted connection as seen in Fig. 8.

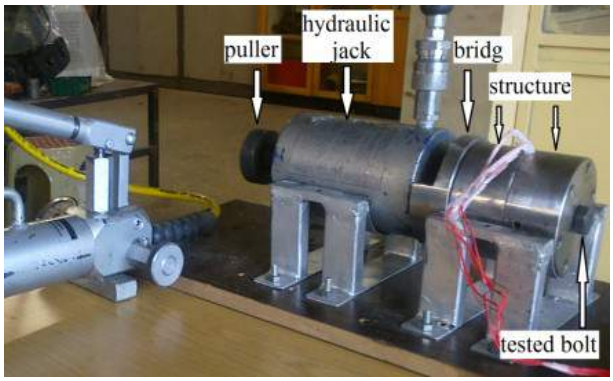


Fig. 8. Experimental setup of hydraulic bolt tensioning system.

Fig. 8. Hydraulic oil is pumped into the jack by a hand pump until the pressure gauge reads the desired preloading pressure value. Bolt stretching under the effect of hydraulic load will then create a gap under the hex nut of the snug-tight connection. Turning the nut driver by a tommy bar until the hex nut reaches the structure surface (and closes the gap) again is the next step of the tightening process. Finally, as the hydraulic load is released the hex nut, at its new position, will maintain the applied preload on the bolt.

The same magnitude of preloads given in Table 1 are used to calculate the required hydraulic pressures for three different bolt sizes. A CFTMAK type hydraulic hollow jack, having a pressure area of 42.857cm2 and providing 30 ton at 700 bar is used during tests. Pressures of 163bar, 220bar and 283bar are required for three bolt sizes respectively.

The bolts used for testing are instrumented with strain gauges for actual stress calculations and exact measurement of the preloading generated by two different tightening methods. Two kinds of strain gages are used in the study to measure axial strains (FLA series) and torsion strains (FCT series) on the bolt body as shown in Fig. 9.

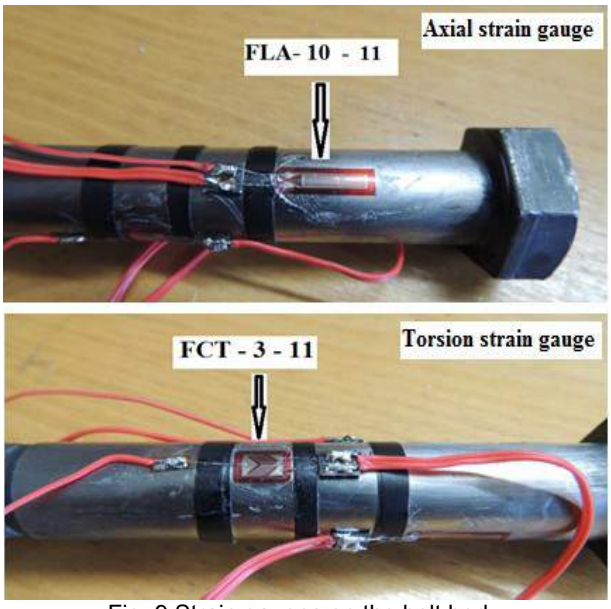


Fig. 9 Strain gauges on the bolt body

The types of strain gages and gage circuit bridges were so selected that temperature compensation is obtained naturally. Bolt tightening experiments were performed by using 6 samples of each bolt size (3 samples for each method oftightening; torque wrench and hydraulic tensioning).

4. Static Test Results And Discussions

4.1 Conventional Torque Tightening

Torques specified in Table 1 are applied by conventional torque wrenches with mechanical setting and the actual preloads induced on the bolt body are measured and calculated by using strain gaguges installed on the bolts. Applied torque vs actual preload results are given in Fig. 10 for 3 samples of M14 bolts for a target preload magnitude of 68810 N.

As seen in Fig. 10, sample 1 preload magnitude after tightening comes out to be 47906 N, with a deviation of nearly 30.3 %. For the second sample, the preload magnitude is 52697 N, with a deviation of 23.4%. The third

sample reaches a preload magnitude of 49284 N, with a deviation of 28.3%. Similar tests with M16 and M18 bolts produce graphs in Fig.s 11 and 12 respectively.

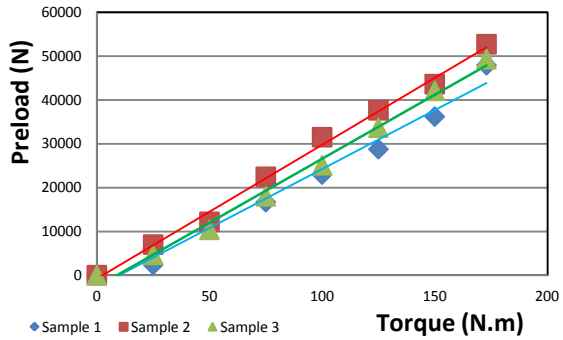


Fig. 10. M14 torque vs preload curves

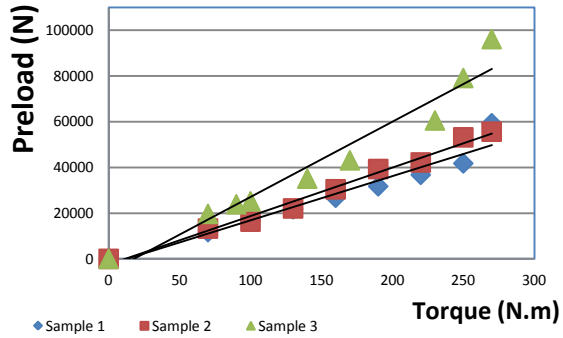


Fig. 11. M16 torque vs preload curves

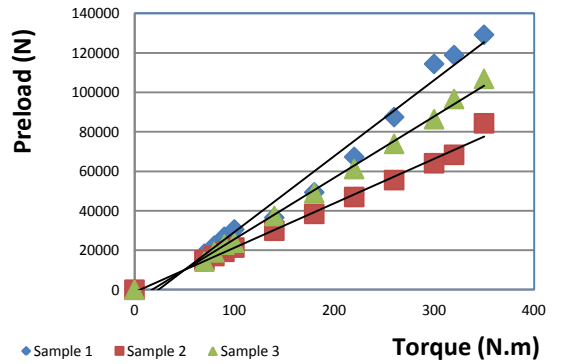


Fig. 12. M18 torque vs. preload curves

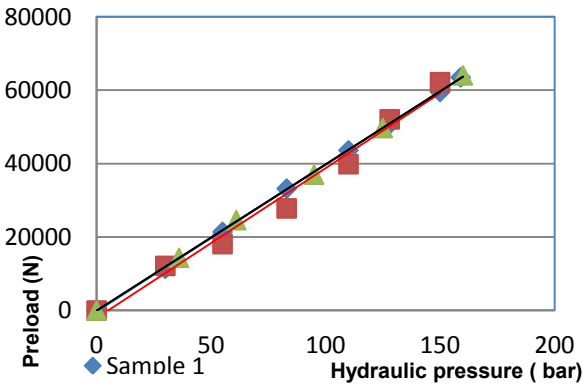


Fig. 13. M14 Hydraulic pressure vs preload curves

4.2 Hydraulic Tightening Method

Tightening tests with hydraulic tension method shows that the final magnitudes of preload are much closer to target values for 3 different sizes of the bolts compared with results of torque wrench method. For M14 bolts results, given in Fig. 13, sample 1 preload magnitude is around 63525N, having a deviation of nearly 7.7%. Second sample reaches a preload value of 62199 N, with a deviation of 9.6%, while the third sample reaches 64050N with a deviation of 6.9%.

The results of M16 and M18 tightened with hydraulic tension are given in Fig.s 14 & 15 with rather small deviations from each other and closer to the theoretical target magnitudes.

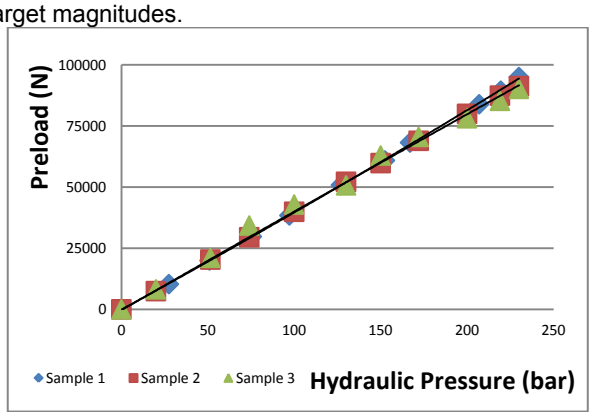


Fig. 14. M16 Hydraulic pressure vs preload curves

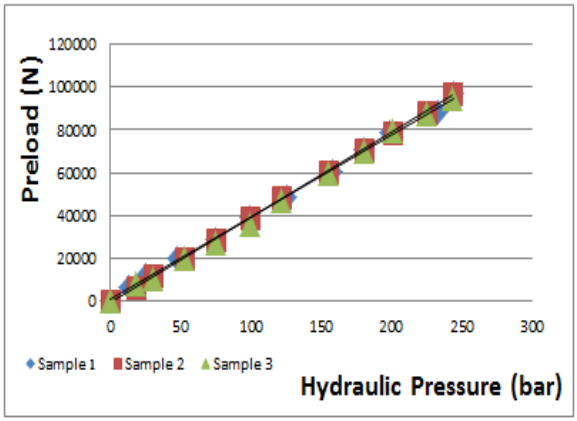


Fig. 15. M18 Hydraulic pressure vs preload curves

4.3 Comparison of Preload Magnitudes of Two Tightening Methods

Test results of previous section have been used to create Tables 2 and 3 for torque and hydraulic tension methods. Percentage deviations were calculated based on the difference value of target value minus the actual measured bolt tension value. A negative sign of deviation means the actual value has exceeded the target value, and getting closer to yield point of the bolt material. As seen from both tables, deviations of torque method reach as high as 40% while majority of results are in between 10-30% with an exception of 2.6%. However, all deviations are below 10% in hydraulic tension method with a maximum of 9.6%. These results support the claim of having a more accurate preloading of bolted connection by method of hydraulic tensioning which can help effective use of both bolt and bolted connection in designs.

Table 2. Percentage deviation of preload magnitude in conventional torque tightening method

Bolt Size	Sample 1	Sample 2	Sample 3
M14	30.3%	23.4%	28.3%
M16	36.7%	-2.6%	40.6%
M18	13.2%	-32.9%	-9.9%

Table 3. Percentage deviation of preload magnitude in hydraulic tension method

Bolt Size	Sample 1	Sample 2	Sample 3
M14	7.7%	9.6%	6.9%
M16	1.4%	2.6%	3.8%
M18	4.0%	0.6%	3.1%

4.4. Parasite Torsion Stress Effect

In addition to the desired axial tension stress, torque tightening introduces an additional "parasite" torsion stress in the bolt during tightening which can, in some cases, can reach over 30% of the tension stress. This stress component, by its nature, is not present in hydraulic tension method since no torque is applied to bolt.

The resulting equivalent total (Von-Mises) stress in the bolt is then calculated by using both axial and torsion stress components. Some of the torsion stress may be released/relaxed by immediate spring back. The amount of relaxation depends on the friction under the bolt head or nut with structure.

Fig. 16 shows three components of bolt stress (axial, torsion and total von-mises) in three samples of M14 bolts tightened by conventional torque wrench method. With an average value of 100MPa torsion stress and 420MPa axial stress, torsion stress reaches up to 24% of the axial stres. Normal and shear stresses of M16 and M18 bolts are shown in Fig.s 17 and 18 respectively.

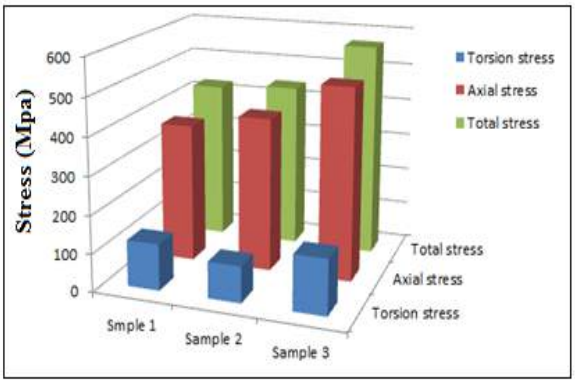


Fig. 16 Total stresses in M14 after conventional torque wrench tightening

Due to both large inaccuracy and also the parasite effect of the torque tightening method, total stres may go near to yield stress and sometimes over yield stress of the bolt. Furthermore, the residual torsion stress may increase the risk of spontaneous or gradual loosening at a later stage after tightening is complete.

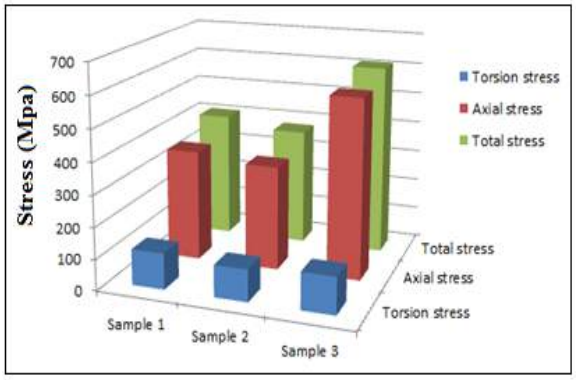


Fig. 17 Total stresses in M16 after conventional torque wrench tightening

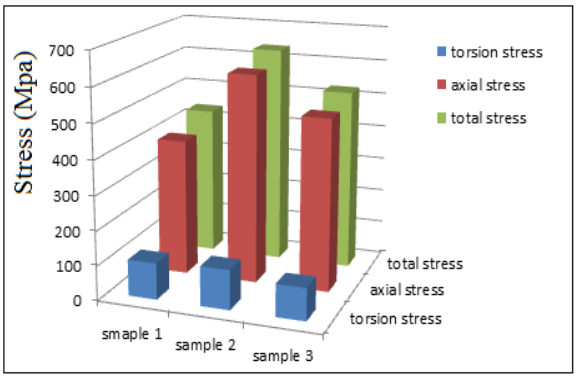


Fig. 18 Total stresses in M18 after conventional torque wrench tightening

During tightening by hydraulic tension method, within bolt body only axial stress appears as a result of preload and no torsion stress occurs as seen in Fig. 19. Both, better or more accurate tightening of the bolt and having no torsion stress on the bolt body, are the major advantages of the hydraulic tension method over torque wrench method.

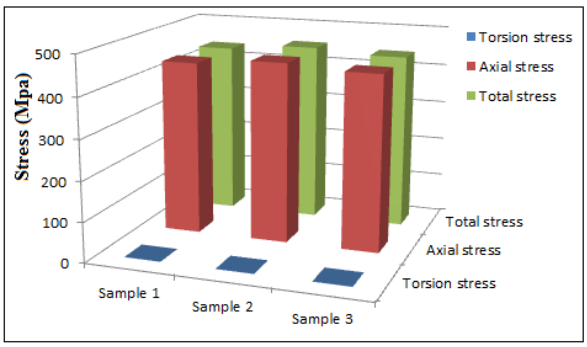


Fig. 19. Total stresses in M18 after hydraulic tension tightening

5. Dynamic Test Results And Discussions

Most mechanical connections of bolts are subjected to dynamic loads. To get an indication of the loss/relaxation of preload during dynamic loading [11, 12, 14] a cyclic fatigue loading (in axial direction parallel to the bolt axis) is applied to bolted connection (via clamped parts) for both methods of torque wrench and hydraulic tension. Fatigue testing machine of ZWICK-Vibrophores seen in Fig. 20 is

used to apply cyclic fatigue loading. During cyclic load application on the bolted connection it is so arranged that the final likely load on the bolt creates a stress not more than the yield strength of the bolt. So the final stress of bolt, at worst, will be fluctuating between pure preload stress and the yield point as seen in Fig. 21.

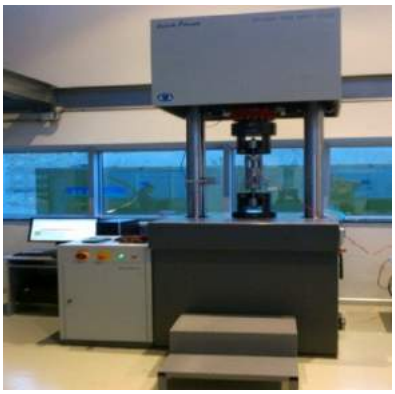


Fig. 20. Fatigue loading machine from ZWICK Company

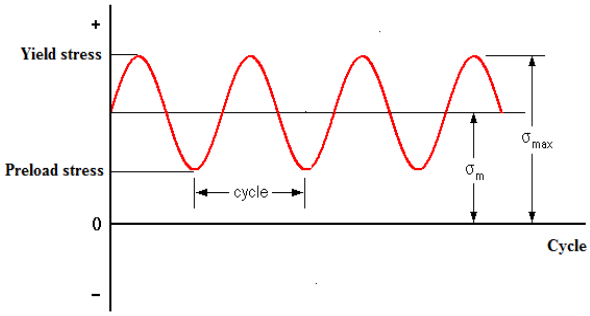


Fig. 21 Estimated bolt stress under dynamic loads

A structure of bolted connection as seen in Fig. 22 is used during dynamic loading of the system. Major structure, in Fig. 22, is the parts and bolt being tested, whereas additional structures are the extra parts connecting the major structure to fatigue testing machine.

Six samples of M14 bolts are used in dynamic load tests, three tightened by conventional torque wrench and other three bolts tightened by hydraulic tension method. All bolts are tightened to reach a preload magnitude of 58500N (corresponding to 85% of the proof load this time), then an external cyclic load magnitude of 67100N applied with frequency 60cycle/sec for total number of 300.000 cycles. During tests, after every 50.000cycles test is interrupted for a short duration and bolt preload is measured by using strain gauges present on the bolt body.

Variation of preload with loading cycle is given in Fig.s 23 & 24 for two tightening methods. Preload values at start of tests are the static preloads created by the respective tightening methods and differences are mainly due to the inaccuracies of the methods themselves.

Relatively large reductions in preload values (nearly 25-45%) are recorded in case of torque wrench method for a period of 300.000 cycles of dynamic loading.

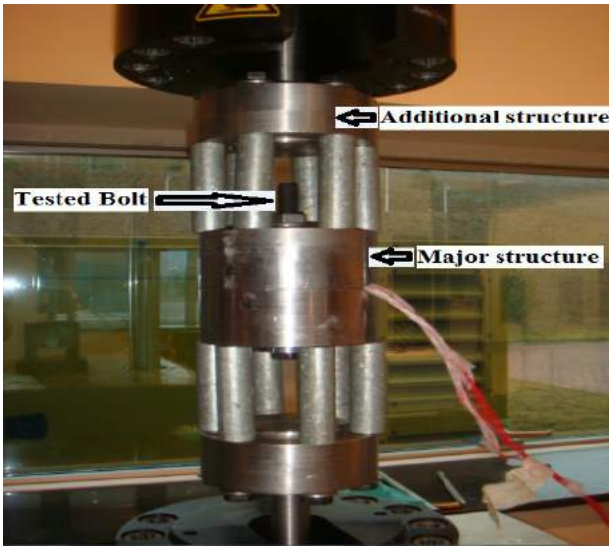


Fig. 22 Bolt Structures

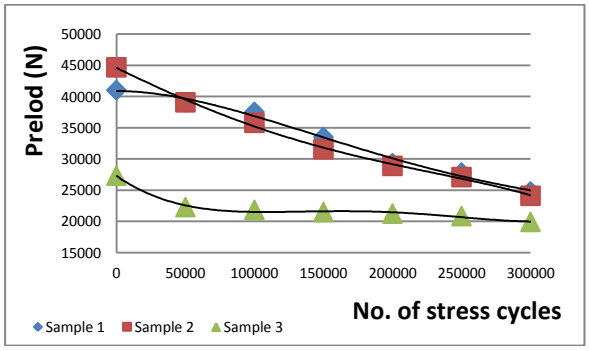


Fig. 23. Preload reduction vs. load cycle for M14 bolts tightened by conventional torque wrench method

For the same period of loading cycle, reduction values in preloads are much smaller (5-6%) for the case of hydraulic tension method (Fig. 24).

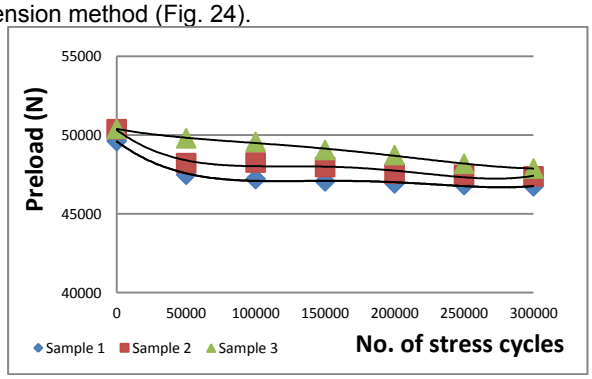


Fig. 24. Preload reduction vs load cycle for M14 bolts tightened by hydraulic tension method

Table 3 & 4 summarize the dynamic test results of both tightening methods with a clear advantage and reliability of hydraulic tension method to hold the initial preload with a tolerance of nearly 5-6% over a loading period of 300.000cycles.

Table 3 Cyclic load effect on preload magnitudes tightened by conventional torque wrench method

Sample No.	Preload after tightening	Preload after 300000 cycles	Preload loss percentage
Sample 1	41042 N	24819 N	39.5%
Sample 2	44704 N	24124 N	46.0%
Sample 3	27353 N	19937 N	27.1%

Table 4 Cyclic loads effect on preload magnitudes tightened by hydraulic tension method

Sample No.	Preload after tightening	Preload after 300000 cycles	Preload loss percentage
Sample 1	49626 N	46751 N	5.8%
Sample 2	50374 N	47381 N	5.9%
Sample 3	50400 N	47880 N	5.0%

Large preload relaxation in conventional torque wrench method may possibly be related to the high residual torsional stresses created in the bolt during tightening. For the bolts in hydraulic tension method, however, there is almost no residual torsional stress and therefore rather less (and almost no) preload relaxation.

6. Conclusions

Although tightening bolts by the conventional torque wrench method is simple, especially for bolts of reasonable dimensions, hydraulic bolt tensioning, with beter accuracy and no torsional stres, is now the preferred method of tightening bolts and studs on all critical applications. The quality of a bolted fastener assembly depends on two interdependent parameters, first the design of the assembly, and the second the method used to tighten the bolts.

The study presented here proves that tightening method of hydraulic tensioner offers the best compromise in both preload accuracy and no “parasite” torsion stress on the bolts during and after tightening compared with the method of conventional torque wrench.

It is also a well-known fact that the cyclic loading on structure induces micro settlements in the body and threads of a bolt and nuts and thereby generates a loss/relaxation of pretension force (preload). Based on the test results obtained it is clear that the bolts preloaded by the method of hydraulic tensioner have much less preload relaxation than the method of conventional torque tightening. In other words, the clamping force (preload) of bolts tightened by hydraulic tension method can sustain more cyclic external load compared with conventional torque tightening.

Acknowledgments

In this study, experiments of the bolted connections were accomplished by using the facilities of Mechanical Engineering of Gaziantep University and Iron & Steel Institute, Karabuk University, Turkey.

References

[1] Xiwen Zhang , Xiaodong Wang, Yi Luo. An Improved Torque Method for Preload Control in Precision. Journal of Mechanical Engineering; vol.58; 2012; P 1-3.
[2] Christine Heistermann. Behaviour of Pretensioned Bolts in Friction Connections. Lulea University of Technology; 2011; P53-76.
[3] Ralph S. Shoberg. Advanced bolt torque audit yields bolt tension data. PCB load and torque INC; 2010; P 2-3.
[4] J.G. Williams, R.E. Anley, D.H. Nash, T.G.F. Gray. Analysis of externally loaded bolted joints: Analytical, computational and experimental study. Elsevier International Journal of Pressure Vessels and Piping; England;Vol.86 2009. P 3-8.
[5] E. Hemmati Vand, R. H. Oskouei, T. N. Chakherlou . An experimental method for measuring clamping force in bolted connections and effect of bolt threads lubrication on its value; Conference paper; Word Acadimiy of Science Engineering and technologies-22; Australia; 2008; P1-4.
[6] Babak Abazadeh, T. N. Chakherlou, RenéC. Alderliesten. Effect of interference fitting and / or bolt clamping on the fatigue behavior of alloy 2024 – T3 double shear lap joints in different cyclic load range. Elsevıer International journal of mechanical science; 2013; P1-8.
[7] Erik Oberg, Franklin D. Jones, Holbrook L. Horton, Henry H. Ryffel. Machinery’s Handbook. 27th ed. 2004; P 1495- 1511.
[8] Fouad Hilmiy Fouad. Slip behavior of bolted friction – type joints with coated contact surface; Master Thesis, University of Texas - Austen US; 1978;P34-40.
[9] E. Giacomelli, F. Graziani, P. Battagli. Advantages of the hydraulic tightening of threaded connections in reciprocating compressors; International Engineering Conference; 1990; paper 712; P2-7..
[10] SKF. Bolt-tightening Handbook. Linear motion and precision technologies; 2001; P 4-39
[11] William Eccles. Tribological aspects of the self – loosening of threaded fasteners; PhD tehsis; University of Central Lancashire 2010; P95- 86.
[12] Saman Fernando. Mechanisms and prevention of vibration loosening in bolted joints; Australian Journal of Mechanical Engineering; Vol. 2 Issue 2; 2005; P19-24.
[13] Shigley’s. Mechanical Engineering Design; textbook; 9 th ed; 2011; Chapter 8.
[14] Lyndon B. Johnson. Criteria for preloaded bolts. National Aeronautics and Space Administration; Houston Texas; revision A; 1998; P 9-13.

ENDÜSTRİDE TRANSPORT SİSTEMİ OLARAK KULLANILAN KOVA KALDIRMA SİSTEMİ TASARIMI

DESIGN OF LIFTING BUCKETS USED AS A TRANSPORTATION SYSTEM IN INDUSTRY

Hüseyin ACAR [a], Süleyman SEMİZ [b]
[a] Kardemir A.Ş., Karabük, Turkey, E-posta: hacar@kardemir.com
[b] Karabük Universitesi, Karabük, Turkey, E-posta: ssemiz@karabuk.edu.tr

Özet

Endüstride transport önemli etkenlerden biridir. Transport kısaca bir insanın, ürünün, hammaddenin vb. bir yerden istenilen başka bir yere nakil edilmesi, insan veya malların fiili hareketi olarak tanımlanır ve nakliye, taşımacılık olarak da adlandırılır. Endüstride fabrika içinde ürünlerin bir yerden istenilen başka bir yere taşınmasında kullanılan transport araçları konveyör sistemleri, elevatörler, besleyici vibratörler (4-5 m den daha kısa mesafeler için), vinçler ve caraskal sistemleridir. Yüksek açılarda taşıma gerektiren sistemlerde kullanılabilecek bir sistem de Kova Kaldırma Sistemidir. Kova Kaldırma Sistemi, Kova Köprüsü ve Kaldırma Grubundan oluşmaktadır. Kova Kaldırma Sistemi mekanik olarak az sayıda bileşene sahiptir. Sistemi oluşturan parçalarda aşınma, kırılma, kopma gibi istenmeyen durumların ortaya çıkma ihtimali düşüktür. Arıza meydana geldiğinde parçaların değiştirilmesi kolaydır. Kova Kaldırma Sistemi yüksek vet 45º-80º açıda bir noktaya malzeme taşınmasında ve işletme alanı dar olan birçok işletmede kullanılabilir.

Anahtar kelimeler: Kova Kaldırma, transport, nakliye

Abstract

Transportation is one of the most important processes in the manufacturing industry. It is called transportation that the operation of transporting employees, product, raw materials, and other factors of production from one place to another place desired. The tolls used to transport products from one place to another location desired in factory are conveyor systems, elevators, feeders, vibrators, cranes and workshop hoist systems. A system that can be used in situations that require carrying at high angels is the bucket lifting, too. Due to systems have mechanically fewer components, the probability of occurrence unwanted situations such as wear of the parts, fracture, breaking away is low. When the fault occurs, it is easy to replace the parts. System can be used for transporting goods to a point high and with an angel of 45 º -80 º and in businesses having narrow areas.

Keywords: bucket lifting syste , transport

1. Giriş

Transport tekniği insan ve malların bir yerden başka bir yere taşınmasını inceleyen bilim dalıdır. Transport tekniği, belirli bir amacı gerçekleştirmek için malzemelerin taşınmasını, paketlenmesini ve depolanmasını sağlayan ekipman ile metodlar, hizmetler, işlemler sistemi ve kombinasyonudur. Transport tekniği, en genel anlamda her çeşit malın taşınması, paketlenmesi ve depolanması bilimi olarak tanımlanır. Ancak son yıllarda transport işleminin uygulama alanları oldukça genişlemiştir. Taşıma uzak ve yakın mesafeler arasında olabilir [1].

Transport sistemi kullanan işletmelerin beklentileri, sistemin imalat ve montaj fiyatının uygun olması, kurulumun kolay olması, arızalanmaların olabilecek en asgari düzeyde olması ve onarımının en kısa sürede ve en az işçi ile yapılabilmesi, zamandan tasarruf, yedek parçanın kolay temini, enerji tüketiminin az olması olarak sayılabilir.

Belirtilen kavramlara ek olarak malzeme transportu tanımı, ekonomik olma koşulunu içermelidir. Parçaların ve malzemelerin belirli bir noktaya belirli bir zamanda aktarımı, kabul edilebilir maliyette ise anlamlı olacaktır [1].

Yüklerin bir yere taşınmasında üç temel işlem vardır; yükleme, iletim, boşaltma. Bu işlemler transport makinaları tarafından yerine getirilir. Üç işlem aynı makinanın bünyesinde toplanacağı gibi teker teker veya ikili kombinozonlar halinde bulunabilir. Bir malzeme, mal veya ürünün bir yerden başka bir yere taşınmasına kısaca “endüstriyel taşıma” denir. Bu taşıma işlevi, kaldırma ve taşıma makinaları adı verilen transport makinaları ile sağlanır [1].

Kova Kaldırma Sistemi, müşteri beklentilerini en iyi şekilde karşılayan bir transport sistemidir. Ancak bu sistem daha öncede de belirtildiği gibi 45ºden daha büyük derecede kullanılabilir. Yaklaşık 80º den daha büyük açılarda imal edilen kova köprüsü üzerinde yürüyen Kovaya düzensiz yükleme yapıldığında kovanın geri devrilme tehlikesi ortaya çıkar.

Yapılacak olan fabrikanın yerleştirileceği alan miktarı yeterli ise düz yüzeyli konveyör bantları 20º, ince profilli bantlar 20º-35º, çavuş profilli bantlar 35º-45º, esnek kenarlı paletli bantlar 45º-60º kullanılır [2].

Ancak bantlı konveyörleri taşımak için Galeri, Galeri ayakları, bant gerdirme tertibatı, döküş olukları gibi birçok ek tertibat gerekecektir. Bantlı konveyör sistemini oluşturmak için gerekli olan çelik konstrüksiyonda kullanılan malzeme miktarı, kova kaldırma sistemi konstrüksiyonunda kullanılacak malzeme miktarından daha fazla olacağından maliyet artacaktır.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Bantın taşıdığı malzeme bilhassa ıslak ve yapışkan olduğu zaman, dönüş kolundaki tambur ve makaralara ve hatta tahrik ve kuyruk tamburları ile taşıyıcı makara gruplarına yapışarak konveyörün çalışmasını aksatır. Genellikle bantların sadece malzeme taşıyan yüzleri temizlenir [3]. Bu temizleme işlemi için Şekil 1'de gösterilen bant silgileri kullanılır.

Şekil 1. Bant Silgisi

Silgiler belli bir zaman sonra aşınmakta ve sonra değiştirilmesi gerekmektedir. Kova kaldırma sisteminde ise taşınan malzemenin sistemin herhangi bir bölgesine yapışması söz konusu değildir. Kova kaldırma sistemi, Bantlı konveyörler ve elevatörlere göre daha temiz bir çalışma ortamı sunar. Yalnızca kova doldurma ve boşaltma noktalarında kuru malzemeler için toz oluşumu gerçekleşir. Bu da toz toplama sistemi ile giderilebilir.

Kova Kaldırma Sistemi bilhassa işletme alanı dar olan fabrikalarda ve yüksek seviyelere ürün, malzeme, hammadde taşımada genellikle kireçtaşı, dolamit, sinter, pelet, parça cevher, kok gibi malzemeleri taşımada tercih edilir [4]. Bantlı konveyör sistemlerinde sinter, pelet, parça cevher gibi malzemeler çabuk aşınmaya neden olur. Kova Kaldırma Sisteminde aşınacak parçalardan biri kovanın kendisidir. Sinter, pelet, parça cevher gibi aşındırmaya sebep olan malzemeler taşınacaksa kova içerisine aşınma plakaları yerleştirilir ve aşındıkça değiştirilir. Kireç taşı gibi aşındırma etkisi az olan malzemeler için kovada aşınma plakası kullanmaya gerek yoktur.

Farklı uygulamalarda karşılaşılan aşınma problemlerine karşı bazı kuruluşlar tarafından aşınmaya dayanıklı yeni malzemeler geliştirilmektedir. Hardoks serisi çelikler de bu tür malzemelerden biri olup, özellikle abrasif aşınma direnci oldukça yüksektir. Hardoks tipi çelikler piyasada bulunan bazı yüksek dayanımlı çeliklere göre, aşınmaya karşı en az beş kat daha uzun ömürlüdür. Yüksek sertlik, yüksek mukavemet ve üstün tokluk gibi mekaniksel özelliklerin bir arada olduğu HARDOX aşınma plakaları, öncelikle, aşınmanın önemli bir sorun olarak karşılaşıldığı uygulamalarda ilk tercih olarak kullanılmaktadır. Sahip oldukları Brinell sertlik değerlerine göre HARDOX 400, HARDOX 450, HARDOX 500 ve HARDOX 600 çeşitleri olmakla beraber çok maksatlı aşınma dirençli levhalardır [5].

Kovayı kaldırmada kullanılan halat standart ömrünü tamamladığında değiştirilir. Halatların iyi bir şekilde yağlanmasının halat ömrünü arttırır. Yağlanmamış bir halatın yapılan eğilme testindeki ömrü iyi bir şekilde yağlanmış bir halatın ömrünün ancak %15-%20'sine ulaştığı tespit edilmiştir [6]. Halat ömrü malzemenin ağırlığına, yapılan bakıma göre değişir. Doğru halat seçimi, kullanım şartlarına uygun kullanım ve etkili bir bakım halat ömrünü oldukça uzun kılacak ve standart ömür yakalanabilecektir.

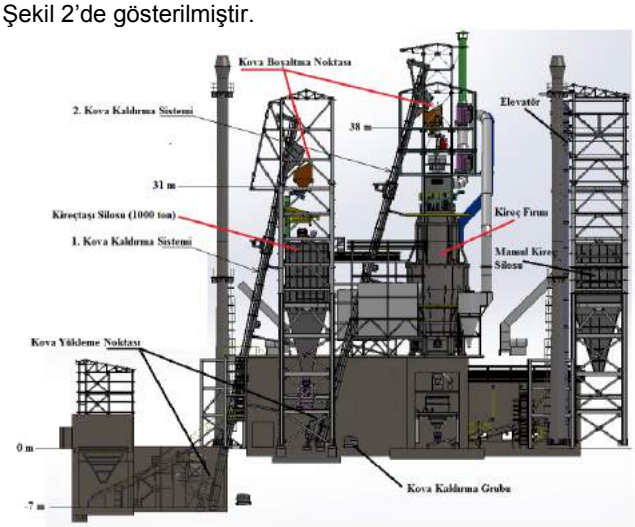
Kova Kaldırma Sisteminde zamanla aşınacak bir diğer parça ise kovanın tekerleklerinin üzerinde yürüdüğü aşınma palakalarıdır. Bu plakalar köprüye havşa başlı cıvata ile bağlanır. Bu plakalar Hardox malzemeden imal edilir.

Kovaya ait, çelikten yapılmış, yürüme yüzeyleri üzerine sertleştirme işlemi uygulanmış ve rulmanlarla mile yataklanmış olan tekerleklerin ömrü oldukça uzundur.

Kova kaldırma Sisteminin kireç fabrikalarındaki kullanım ömrü bir kireç fırınının ortalama ömrü olan 30 yıl boyunca gerekli bakımlar yapıldığı ve uygun kullanıldığı sürece transport görevini yerine getirir.

2. Kova Kaldırma Sisteminin Yapısı ve Tasarımı

Kova kaldırma sisteminin bir Kireç Fabrikasındaki yerleşimi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Kova kaldırma sisteminin kireç fabrikasında kullanımı [7]

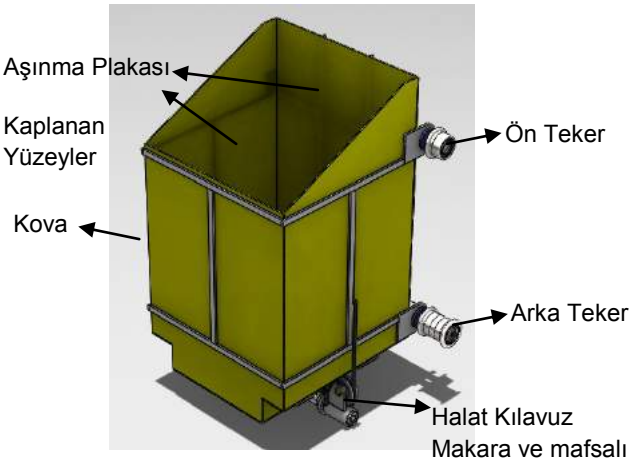
Şekil 2'de gösterilen kova kaldırma sistemi yerleşimi 50mx50m bir alanda üretim yapacak bir kireç fabrikasında kullanılacak şekilde tasarlanmıştır. Bu alanda transport sistemi olarak Kireç taşı silosuna ve Kireç Fırınına kireç taşı yüklenmektedir. Alan oldukça dar ve kireç taşının çıkarılacağı noktalar yüksekte (31m ve 38m) olduğu için bantlı konveyör kullanımı uygun görülmemiş ve bundan dolayı 2 adet Kova Kaldırma Sistemi kullanılarak Kireçtaşı kireç taşı silosuna ve kireç fırınının üst kısmına taşınacaktır böylelikle fırın şarj edilecektir. Kireç fabrikasında olduğu gibi yüksek fırınlarda da fırına kireçtaşı, dolamit, parça cevher, sinter, metalürjik kok ekleme Kova Kaldırma Sistemi kullanılarak yapılmaktadır [4]. Kova Kaldırma Sistemi, Kireç Fırını ve Yüksek Fırınların yanında 45º ve daha yüksek bir noktaya

malzeme taşınacak ve işletme alanı dar olan birçok işletmede kullanılabilir

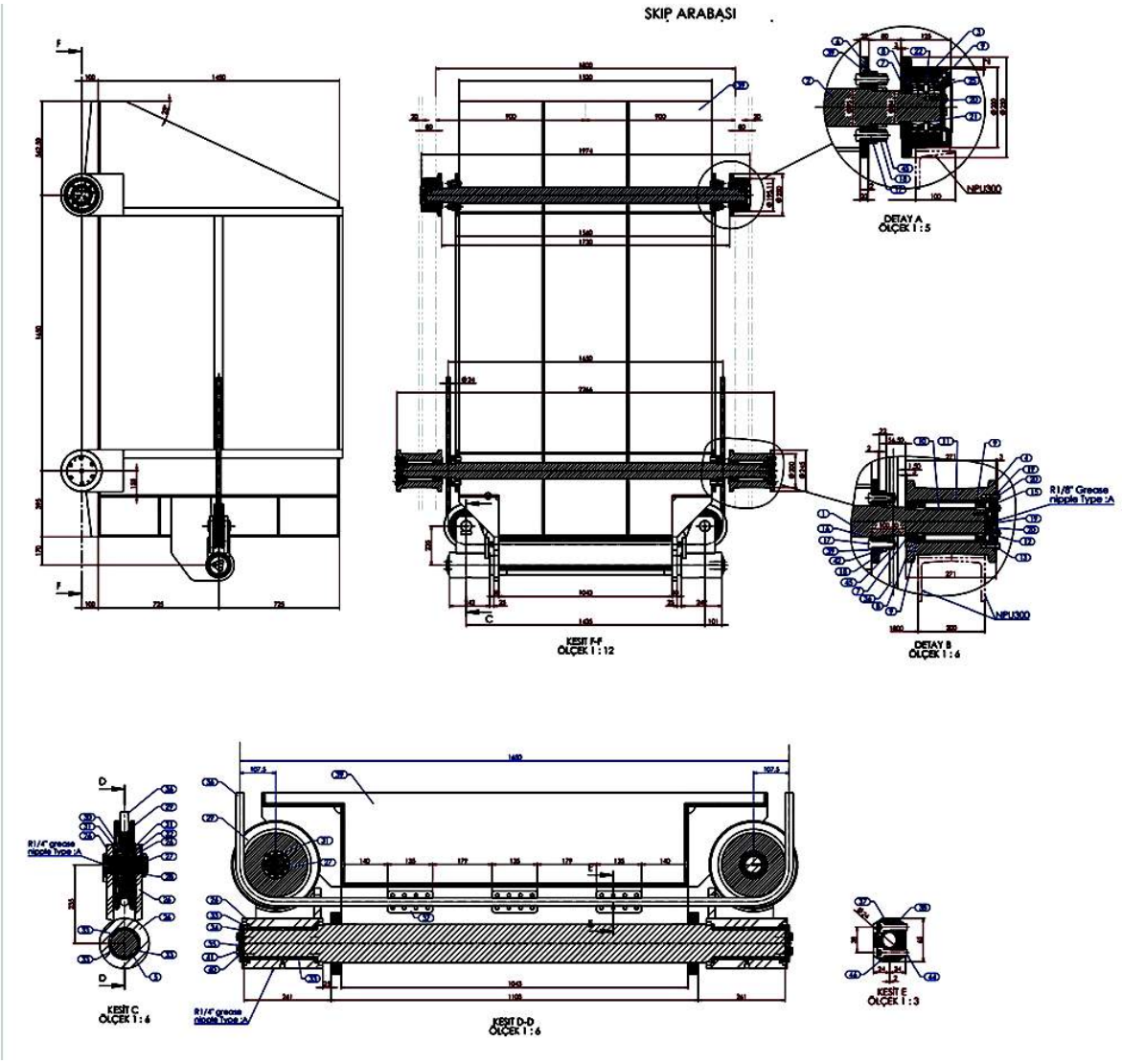
2.1. Kova Arabası

Kova arabası, yerden yüksek seviyelere çıkarılacak malzemenin yüklendiği, haznesi genellikle St 37 malzemeden imal edilen, taşınacak malzemenin aşındırma etkisine göre aşınmaya maruz kalan yüzeylerine aşınma plakaları kaplanan, rulmanlarla yataklanmış 4 adet tekeri bulunan, alt kısmında ise halat kılavuz makara ve döküş için devrilmeyi sağlayan mafsal sistemi bulanan sistemdir. Kova arabasının görünümü Şekil 3'de gösterilmiştir.

Kova arabasına ait ön ve arka tekerler ile halat kılavuz makara ve mafsal sistemi Şekil 4'de gösterilmiştir. Ön teker arka tekere göre daha kısadır. Bunun nedeni kova arabası döküş yapabilmesidir.



Şekil 3. Kova [7]

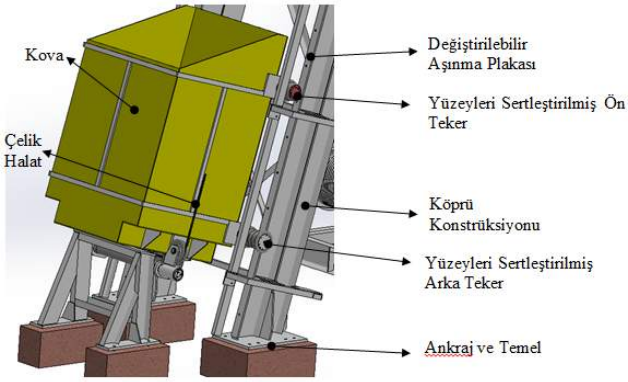


Şekil 4. Kova arabası tekerleri ve halat kılavuz makara ve mafsal sistemi montaj resmi [8]

2.2. Kova Arabasına Malzeme Yüklenmesi

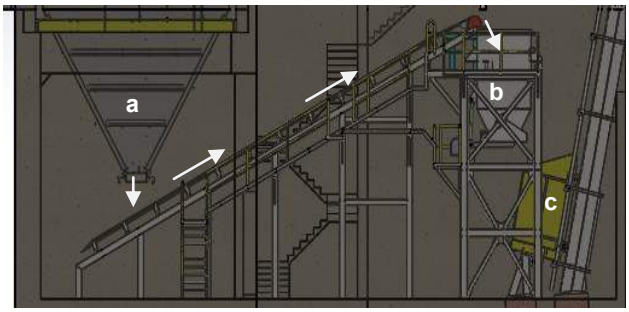
Kova arabası yükleme konumunda iken genellikle konveyör ya da besleyici vibratörlerle doldurulur. Kovaya yüklenecek malzemenin ağırlığı sistem tasarımcıları tarafından belirlenir. Günlük 450 ton kireç üretebilme kapasitesinde olan bir kireç fabrikasında fırına kireç yüklemek (şarj etmek) için Şekil 5.de gösterilmiş olan kova arabası 4 ton kireç taşı alabilecek şekilde 1.5mx1.5mx1.8m ebatlarında tasarlanmıştır. Bu sistemde

kova 30m/dk hızında hareket edecektir. Sistem tasarımcıları tarafından belirlenen zaman aralıkları ise doldurma süresi 1dk., yüklendikten sonra tırmanma süresi 1,5 dk., döküş süresi 1 dk., boşaltılan kova arabasının başlangıç konumuna geri gelmesi 1,5 dk olarak belirlenmiş ve kova arabası kaldırma sistemi kaldırma grubunda yer alan elektrik motoru ve redüktör buna göre seçilmiştir [9].



Şekil 5. Kova kaldırma sistemine ait kova abasının yükleme noktasındaki görünümü [7]

Kova arabası doldurma işlemi malzemenin bulunduğu silolardan besleyici vibratörler ile malzemenin doğrudan veya bantlı konveyör yardımıyla kova arabasına doldurulması şeklinde olabileceği gibi, kova arabasına yüklemeden önce tartı bunkerini doldurup istenilen ağırlık elde edildikten sonra yükleme kova arabasına yükleme yapılması şeklinde de olabilir.

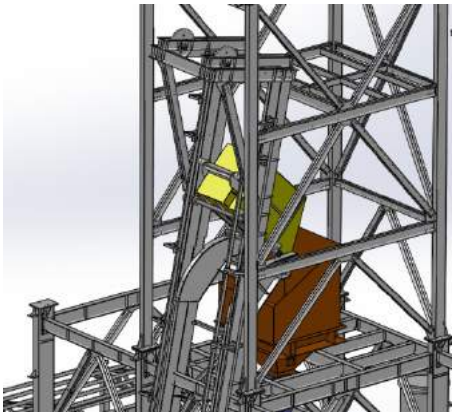


Şekil 6. Taşınacak malzemeyi kovaya yükleme

Şekil 6'da yükleme evresi gösterilmiştir. Daha önce kamyonlarla veya vagonlarla getirilen malzeme bunkerlere (a) boşaltılır. Bunkerlerin çıkış ağzında bulunan besleyici vibratörlerle malzeme bantlı konveyöre dökülür. Bantlı konveyör tartı bunkerine (b) malzemeyi çıkarır ve ağırlık sensörleri sayesinde belirlenen ağırlıkta yükleme yapılır. Daha sonra tartı bunkerinin hidrolik kapağı açılarak malzeme kova arabasına (c) boşaltılır. Bu şekilde doldurulan kova arabası yukarı doğru kaldırma sistemi kaldırma grubunca halat yardımı ile yukarı kaldırılır.

2.3. Kova Arabasının Boşaltılması

Yüklü olan kova arabası istenilen yüksekliğe çıkarıldığında içindeki malzeme boşaltılır. Boşaltma işlemi kova arabasının içinde yüklü olan malzemenin tamamen dökülmesi için gerekli olan açıyı yakalayacak şekilde, ön tekerlerin daha kısa olması nedeniyle Radius şeklinde yapılan kılavuz yolu takip ederek eğilmeyi başlatması ve bu esnada arka tekerler daha geniş olarak imal edildiği için kova kaldırma sisteminin kaldırma ekseni boyunca yoluna devam etmesi ile kova arabasını devirme işlemi gerçekleşmiş olur. Devirme işleminde gerekli olan devirme açısı yakalandığında sensörler vasıtasıyla kaldırma grubu motoru durdurulur. Döküş işlemi gerçekleştikten sonra motor ters yönde dönerek kova arabasının başlangıç konumuna geri dönmesi sağlanır (Şekil 7) [9].



Şekil 7. Kova arabası boşaltılması

2.4. Kova Arabasının Kaldırma Grubu

Kova arabası Şekil'8 de gösterilen kova kaldırma sistemi kaldırma grubunca halatlar vasıtasıyla istenilen yüksekliğe kadar kaldırılır. İstenilen döküş açısı sağlandığında sensörler yardımıyla kaldırma grubuna ait motor durdurulur ve sistem geldiği yolu takip ederek yükleme konumuna geri döner ve sistem bu şekilde çalışarak transport işlemi gerçekleşmiş olur. Kaldırma grubu tek motor ve tek redüktörlü olmakla birlikte çift tamburlu olarak imal edilir. Fakat sanıldığının aksine tek halat kullanılır. Kaldırma grubu üzerinde halat kopma emniyet kolu vardır. Bu kol halatın kopması durumunda üzerinde bulunan switchler sayesinde kaldırma grubunu tahrik eden elektrik motorunu durdurur. Kova arabasının altında bulunan kilit sistemi sayesinde kova arabası hareket halinde olsa bile kopma anında bulunduğu konumda asılı kalır [9].

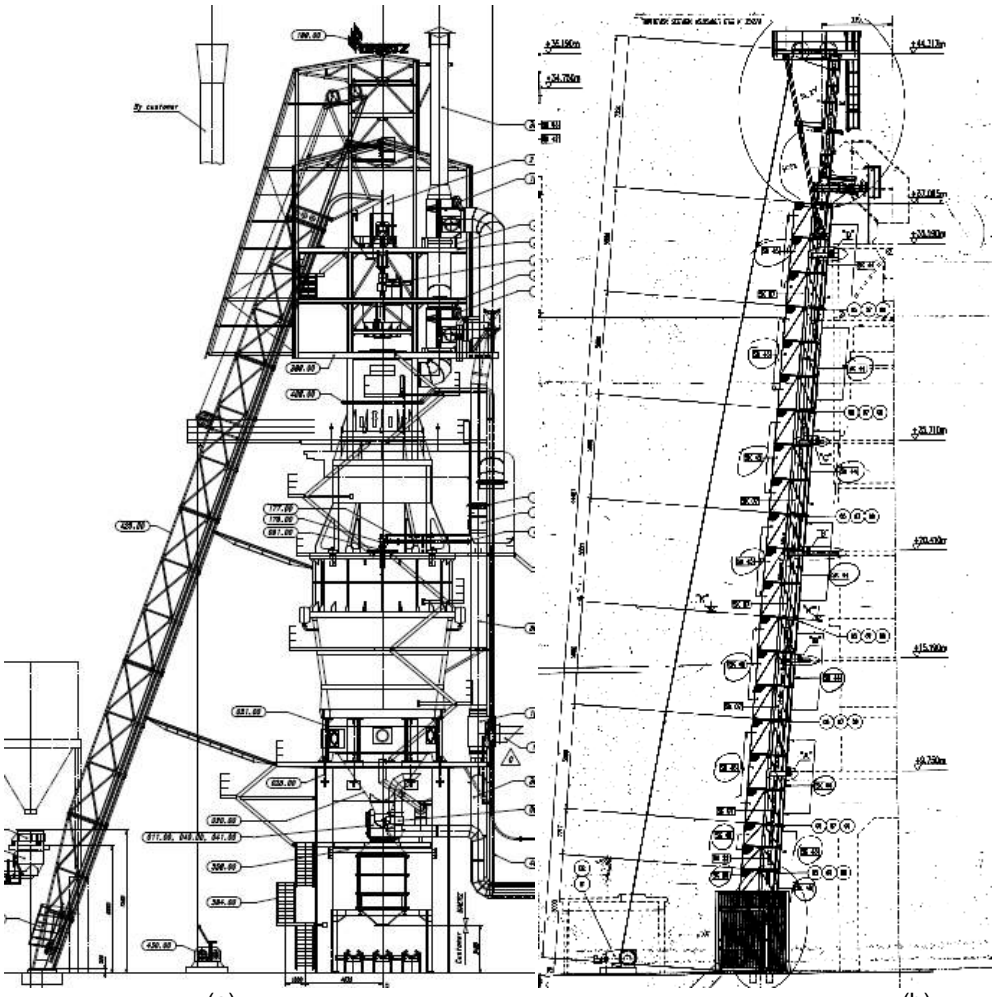
Şekil 8. Kova arabası kaldırma sistemi kaldırma grubu [10]

2.5 Kova Köprüsü

Kovayı taşıyacak köprü konstrüksiyonuna ait iki farklı örnek Şekil 6.da gösterilmiştir.

Köprüler çelik konstrüksiyon şeklinde imal edilirler. Belli bir açı ile yüksek noktalara malzeme çıkardıkları için genellikle üzerine malzeme taşıdıkları bina, ya da fırın gibi yapılardan destek alınarak köprü konstrüksiyon tasarımı

yapılır. Montajında kaynak yerine cıvata ile birleştirme kullanılır. Kireç fırınlarında yapılan kova köprüleri mafsallı şekilde bağlantı yapılır ve fırının üst kısımlarında yaz kış sıcaklık farkı ve fırın içinde var olan yüksek sıcaklık sebebiyle fırının genleşmesinden ötürü yükseklik farkı söz konusu olduğundan köprünün montajı mutlaka mafsallı ve hareketli sistemlerle yapılır [9].



(a) (b)

Şekil 8. Kova köprüsü örnekleri (a) ERDEMİR T.A.Ş. (b) Kardemir A.Ş.

3. Sonuç

Demir çelik endüstrisinde yüksek fırın ve kireç fırını kullanılmaktadır. Bu fırınlara çeşitli materyal yüklemeleri kova kaldırma sistemleri ile yapılır. Kova kaldırma sistemlerinde aşınma yönüyle sadece kovanın zarar göreceği göz önünde bulundurulur ve bu problemin aşınma plakaları (hardoks) ile önlemi alınır. Kovanın köprü üzerinde takip edeceği yola Hardoks veya muadili malzemeden aşınma plakası cıvatalı bir şekilde döşenir ve uzun yıllar bu şekilde kullanılır. Aşınma gerçekleştiğinde bu parçalar değiştirilerek bu sorun giderilmiş olur. Halat uygun kullanım ve bakım yapıldığı sürece standart ömrünü kolaylıkla yakalayabilmektedir. Kova kaldırma sistemleri, ekonomikliği, bakımı, imalat yönüyle parçaların imal edilmesi ve montajı oldukça kolay olduğundan işletmelerde en çok tercih edilen transport sistemlerinden biri haline gelmiştir. Demir çelik sektöründe fırına malzeme yüklemede kullanıldığı gibi bu sektöre ham madde sağlayan sektörlerde de kullanılabilir [9].

Teşekkür

Yazarlar Kardemir A.Ş.'ye yardımlarından dolayı teşekkür ederler.

Kaynaklar

[1] http://transport.itu.edu.tr/PDF/mak419/MAK419-1.pdf
[2] http://www.teknikport.com/2012/05/bant/
[3] Aşık, E. “Bantlı Konveyörler Hesap ve Konstrüksiyon Esasları, TMMOB Yayın No:98, s.122, 1988, Ankara
[4] Kardemir A.Ş. Yüksek Fırınlar ve Sinter Müdürlüğü, Karabük.
[5] Yılmaz, R. , Türkmen, M., Fıçıcı, F. F., Hardoks 500 Çeliğinin Abrasif Aşınma Davranışının İncelenmesi, International Iron & Steel Symposium, 02-04 April 2012, Karabük, Türkiye.
[6] Onur, Y. A., Halat Ömrüne Etki Eden Parametrelerin İrdelenmesi, Asansör Sempozyumu, 2012, İzmir.
[7] Kardemir A.Ş., Etüt Proje Müdürlüğü Arşivi, 425 ton/gün kireç fabrikası 3D genel montaj görünümü
[8] Kardemir A.Ş., Etüt Proje Müdürlüğü Arşivi, 425 ton/gün Kireç Fabrikası Kova Arabası montaj resmi, Resim No:YKF-157.00, Aralık 2011
[9] Kardemir A.Ş., Çelikhane Yatırımlar Müdürlüğü,2011.
[10] Kardemir A.Ş.,Çelikhane Müdürlüğü, 2014.

PİRİNA İLE HURDA PET (POLİETİLEN TEREFTALAT) KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ İÇİN KALIP TASARIMI VE İMALATI

DESIGN AND MANUFACTURING OF COMPOSITE MOLD FOR PRODUCTION OF POMACE – RECYCLING PET COMPOSITE MATERIAL

Hasan ATEŞ [a],Tuncer UĞUR [a], İbrahim KADI [b], Hatice EVLEN [b]
[a] Karabük Üniversitesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği, Karabük/TÜRKİYE
E-posta: hassanatess@hotmail.com, tuncerugurr@hotmail.com
[b] Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük / TÜRKİYE
E-posta: ibrahimkadi@karabuk.edu.tr, hakgul@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışamada PET(Polietilen tereftalat) ile Pirina malzemesinin karıştırılması ile elde edilen malzemenin kalıplanması amaçlanmıştır. Belirlenen bir parça geometrisine için 3 farklı tasarım gerçekleştirilmiştir. Bu tasarımların her biri Ansys programında analize tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları mukavemet açısından karşılaştırılmıştır. En üstün mukavemet değerleri gösteren parça tasarımı seçilip o parçaya göre kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir. Böylece atık PET ve pirina malzeme değerlendirilerek günlük hayatta kullanılan ürünlere dönüştürülebilecek, çevre korumasına ve ülke ekonomisine katkı sağlanacaktır.

Anahtar kelimer: PET, pirina, geri dönüşüm, yük analizi.

Abstract

This study aimed to molding of PET-pomace composite materials. Three different design was performed for a specific part geometry. Each of these designs has been analyzed in the Ansys programme. Analysis results were compared in terms of strength. The mold design was carried out according to the selected part design which indicated the ultimate strength values. Thus, PET and pomace waste material can be converted into evaluating products used in daily life. So it will contribute to the national economy and environmental protection.

Keywords: PET, pomace, recycling, force analyse.

1. Giriş

Tüm dünyada ve ülkemizde hızlı nüfus artışına paralel olarak orman kaynaklarına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak da kaynakların yetersizliği yeni alternatiflerin bulunmasını zorunlu hale getirmiştir. Ülkemizde atık halde bulunan PET ile geri dönüşüme yardım ederek ve pirinaların tekrar ekonomiye kazandırılmasıyla pirinanın geri dönüştürülmesindeki problemler ortadan kaldırılacaktır. Atıl vaziyette olup kullanılmayan bu materyallerin kullanımı ile hem ülke ekonomisine hem de geri dönüşüme katkı sağlanacaktır.

Mevcut durumda sokaklarda kullanılan geri dönüşüm çöp konteynerlerinin azlığı bilinmekle beraber bu durumun üzücü ve kaygı verici olduğunuda görmekteyiz. Örneğin Avrupa'da plastik geri donusumunu en iyi uygulayan ülkeler arasinda Almanya, Avusturya, Hollanda ve Belçika % 20'nin üzerinde plastik geri donusum oraniyla başı çekmektedirler [1-3].

Ülkemizde atık halde bulunan PET (polyetilentereftalat) malzemenin geri dönüşümüne yardım etmek ve atık zeytin posalarının (pirina) tekrar hayata kazandırılarak prinanın geri dönüşümündeki problemleri ortadan kaldıracaktır. Atıl haldeki bu malzemenin kullanılması ile hem ülke ekonomisine hem de geri dönüşüme katkı saylayacaktır. Saf plastik malzemeden elde edilen ürünlere göre atık malzemeden elde edilen PET (polyetilentereftalat) kompozitler geri dönüşüm açısından daha avantajlıdır.

Kullanım ömrü dolan yeniden geri dönüştürülmesi kolay olduğu gibi yeni atık oluşumunu önleyerek ülke ekonomisine katkı saylayacaktır. Geri dönüşüm malzemelerinin değerlendirilmesi konusunda bu tür projeler ve çalışmalarla hem ülke insanımız için yeni fikirler üretmek hemde geri dönüşüm konusunda ülkemizin adını duyurabileceğimiz bir çalışma olacaktır.

Mevcut durumda sokaklarda kullanılan geri dönüşüm kutularının azlığı bilinmekle beraber bu durumun üzücü ve kaygı verici olduğunu da görmekteyiz. Örneğin Avrupa'da plastik geridonusumunu en iyi uygulayanlar arasindasiralamayapilmaktadir. Avrupa Birliği'ne üye ülkeler arasinda Almanya, Avusturya, Hollanda ve Belcika % 20'nin uzerinde plastik geri donusum oraniyla basi cekmektedirler. Atik plastiklerden enerji elde edilmesi ise 2000 yilinda % 6.3oraninda artmıştır. Geri dönüşümü ileri seviyede uygulayan bazi AB ulkeleri ambalaj atiklarinin % 50'sini geri kazanmaktadirlar [4]. Avrupa ile ülkemizi kıyasladığımızda geri dönüşüme ne kadar uzak bir durumda olduğumuzu çok net bir şekilde görmekteyiz.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, tasarlanan birden fazla üründe analizlerde bulunarak üretime ve maliyet açısından en uygun tasarım belirlenerek kalıp tasarımı gerçekleştrilmiştir. Kalıp dişi ve erkek olmak üzere iki ana parçadan oluşmaktadır.

2. Analiz Çalışmaları

Tasarımı gerçekleştirilen kalıpta üreticek bank ayağı mukavemet açısından Ansys Workbench kullanılarak sonlu elemanlar analizine tabi tutulmuştur.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Kalıplama işlemi gerçekleştirilecek olan kompozit malzeme (pet- pirina) daha önceki yıllarda üniversitemizde başka bir lisans tez çalışması kapsamında mekanik testlere tabi tutulmuş ve malzemenin mekanik özellikleri (akma, çekme, sertlik gibi) tespit edilmiştir. Bu çalışma neticesinde elde edilen veriler kullanılarak analizde uygulanan malzeme parametreleri tanımlanmıştır. Gerçekleştirilen analizde bir bankta aynı anda 3 kişinin oturacağı düşünülerek yaklaşık 250 kg (3x70kg) yük uygulanmış, malzemenin statik mukavemeti gözlemlenmiştir.

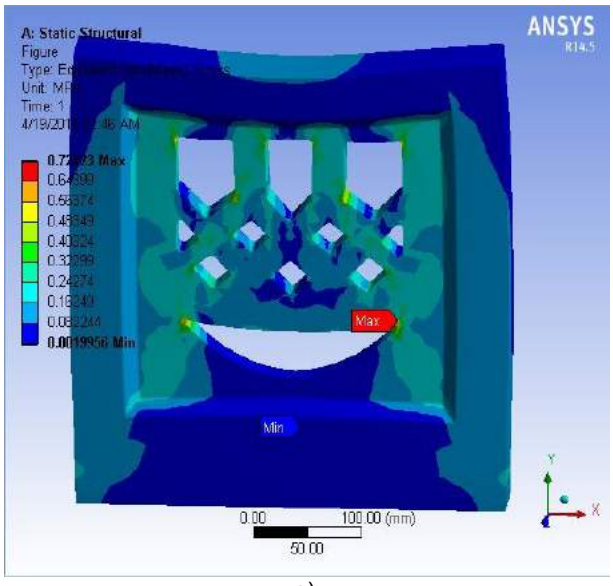
Analiz işlemleri 3 farklı tasarıma göre gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucunda en yüksek mukavemeti gösteren tasarım kalıp ve imalat için tercih edilmiştir. Bu tasarımlar arasında parça kenar kavisleri ve parça ayak yapısı farkları bulunmaktadır. Bu farklar birer tasarım parametresi olarak aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 1 Tasarım parametreleri

Tasarım No	Kenar Pahları (mm)	Köşe Kavisleri (mm)	Ayak yapısı
1	0	3	Düz, tabana paralel
2	15	0	Düz, tabana paralel
3	15	3	Trapez ayaklı

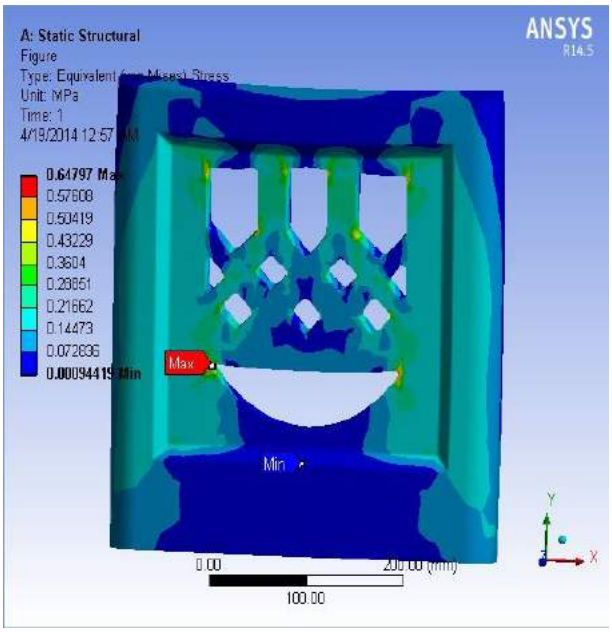
3 farklı tasarıma göre gerçekleştirilen mukavemet analizi sonuçları Şekil 1' de verilmiştir.

Tasarım 1'de yapılan analizler sonucu statik mukavemet incelenmiş ve yeterli bulunmamış, en yüksek deformasyonun bu tasarımda meydana geldiği görülmüştür (%7.2). Tasarım 2'de yapılan analizlerde de yeterli mukavemet değerlerine ulaşılamadığı görülmüştür. İkinci tasarımda bank ayağı % 6,4 deformasyona uğramıştır (Şekil 2). Ancak üçüncü tasarım en düşük deformasyon oranını göstermiş, bu oran standart sınırlar içerisinde olduğundan uygun tasarım olarak seçilmiştir (%1.2).

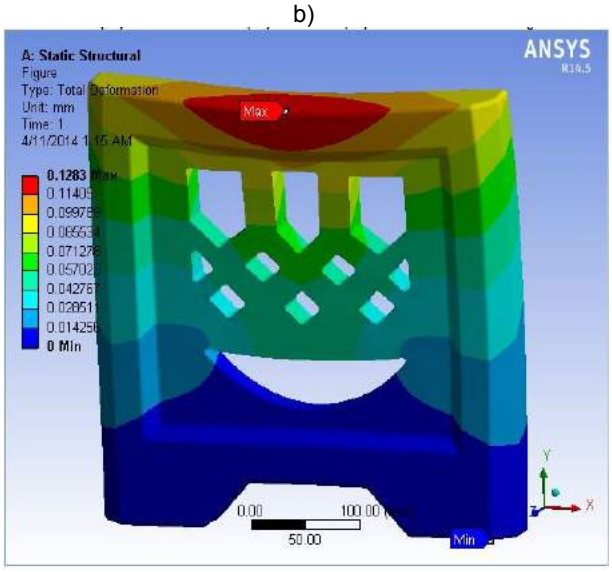


a)

Şekil 1. 3 farklı tasarıma ait analiz sonuçları a) tasarım 1'e ait analiz sonucu, b) tasarım 2'ye ait analiz sonucu, c) tasarım 3'e ait analiz sonucu



b)



c)

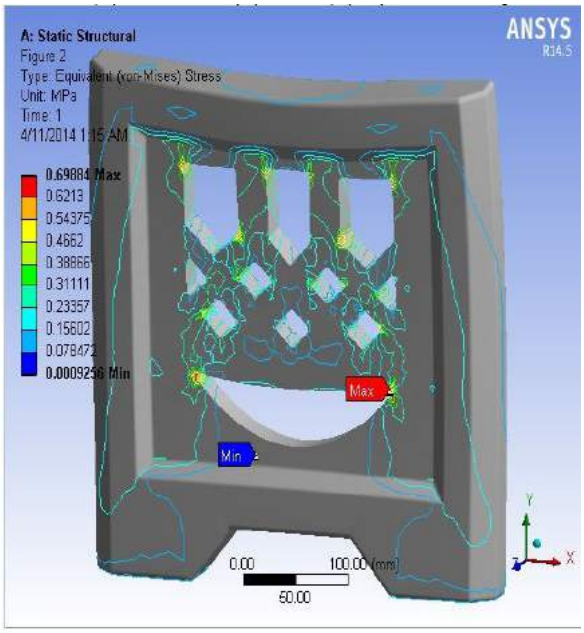
Şekil 1. 3 farklı tasarıma ait analiz sonuçları a) tasarım 1'e ait analiz sonucu, b) tasarım 2'ye ait analiz sonucu, c) tasarım 3'e ait analiz sonucu (devam ediyor)

Gerçekleştirilen analiz işlemlerinin sonucuna göre üretilecek parçaya karar verilmiştir. Bundan sonra üretimine karar verilen parçanın kalıp tasarımı aşamasına geçilmiştir.

3. Kalıp Tasarımı

Gerçekleştirilecek kalıplama işleminde plastik kompozit malzemeye uygulanacak olan basma kuvveti ve basma hızı, yapılacak deneysel çalışmada optimum kalıplama değerlerinin elde edilebilmesi için birer parametre olarak kullanılacaktır. Bunun için pet-pirina kompozit malzemesini kalıba basma işlemi hidrolik prese bağlanan, sıcaklık kontrollü basınç haznesi ile sağlanacaktır (Şekil 3).

Pistonlu hazneden pres kuvveti ile basılan malzeme, ilk olarak manifolttan geçerek iki ayri yolluktan dişi kaliba ve oradan da erkek kalıba dolduruluyor. Kalıp fişek ısıtıcılarla ısıtılaktadır. Kalıp sıcaklığı maksimum 250 °C sıcaklığa ulaşabilmekte ve sıcaklık istenen değere geldiğinde sabit tutulabilmektedir. Böylece PET - pirina kompozit malzemenin kalıp içerisinde rahat ilerlemesi sağlanabilmektedir. Kalıp soğutulduktan sonra üretilen malzeme itici pimler vasıtasıyla itilerek kalıptan otomatik olarak çıkartılabilecektir.



Şekil 2. ANSYS programında kuvvet analizi

Şekil 3. Piston haznesi

Şekil 4. Piston

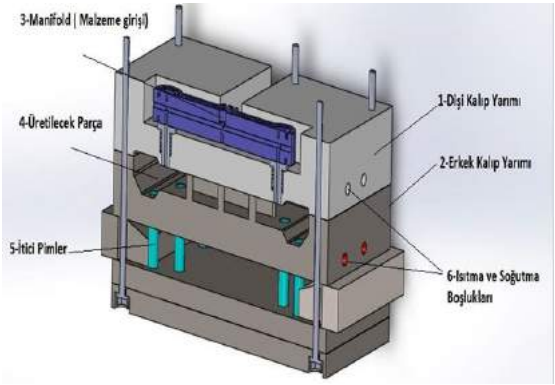
Plastik malzemenin kalıba itildiği basınç haznesinde basma kuvveti bir piston tarafından sağlanmaktadır. Sıcak halde bulunan malzemenin basınçlı bir şekilde kalıba ulaşması için Şekil 4' te gösterilen piston tasarlanmıştır.

200x500 (mm) ebatlarındaki honlanmış borudan elde etmiş olduğumuz hazne üzerinde sol yan tarafından 3¼ genişliğinde et kalınlığı kadar delik açılmış ve buradan karıştırıcıdan gelen malzeme akışı sağlanmıştır. Haznenin dışına çepeçevre 3 adet rezistans sarılarak malzemenin sıcaklığının muhafazası amaçlanmış ve yeterli sıcaklığa ulaşılamayabileceği de düşünülerek rezistans kontrol paneli açılır kapanır olarak tasarlanmıştır. Böylece sistemde istenen sıcaklık elde edilemediği taktirde ilave rezistanslar takviye edilecektir. Sistem 300 °C sıcaklığa kadar ısıtılarakrezistanslar test edilmiştir.

Karıştırıcıda belli oranlarda karıştırılarak elde edilmiş olan kompozit malzeme basınç haznesine alınacaktır. Belirlenen basınç ve basma hızı ile kompozit malzeme kalıba basılacaktır.

Kalıp iki yarımdan oluşmaktadır, dişi ve erkek kalıplar itici pimlerle beraber Şekil 5'de gösterilmiştir. Kalıp tasarımı üretilecek bank ayağı şekline ve ölçülerine göre düzenlenmiştir. Karıştırıcıdan basınç haznesine gelen malzeme, hidrolik presin uyguladığı basınç etkisiyle ilk olarak manifolda gelmektedir. Manifolttan gelen malzeme dişi kalıp üzerinde yer alan yolluklar vasıtasıyla erkek kalıba iletilmektedir. Dişi kalıp 500 × 500 mm olarak tasarlanmıştır. Dişi kalıptan gelen malzeme erkek kalıp üzerinde yer alana ısıtma kanalları vasıtasıyla ısıtımakta ve erkek kalıp içerisindeki parça geometri boşluğunu doldurmaktadır. Kalıplama işi bittiğinde kalıp üzerindeki ısıtıcılar kapatılıp, erkek kalıp üzerindeki soğutma kanallarına su verilmektedir. Böylece kalıp ve üretilen malzeme soğutulmaktadır. Soğutma işlemi tamamlanan kalıp yarımları ayrılarak itici pimler sayesinde üretilen parça kalıp dışına çıkarılmaktadır.

Analiz sonuçlarına göre tercih edilen kalıbın maliyet analizi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.



Şekil 5. Kalıp tasarımı

Çizelge 2. Kalıp maliyet analizi

	Birim Fiyatı (TL)	Toplam Fiyat (TL)
Toplam Ağırlık (1050 Çeliği - 500kg)	2,5	1250
CNC İşlemesi	5000	5000
Manifol	1500	1500
İtici Pimler (11 adet)	30	330
Toplam Maliyet	8080	

4. Sonuç

Üretilecek olan malzemenin Karabük Ünversitesi ambleminin bulunduğu bank ayağı olarak düşünülmüş ve tasarlanmıştır. Köşe kavisi ve pahları açısından farklılık gösteren toplam 3 tasarım gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde alınan sonuçlar Şekil 1.' de verilmiştir. 3 farklı tasarımın denendiği ve uygulanan kuvvetlere karşı bank ayak tasarımının gösterdiği mukavemet açısından tasarımlar kıyaslanacak olursa, birinci tasarımın maksimum deformasyona uğrayan tasarım olduğu (%7,2), üçüncü tasarımın ise en düşük deformasyon oranını (%1,2) gösterdiği tespit edilmiştir. Bu değerlendirme neticesinde en uygun şeklin bu olduğu kararlaştırılmıştır. Analiz neticelerine göre seçimi yapılan parçaya ait kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Yapılan bu çalışma neticesinde Pirina-PET kompozit malzemeler kalıplanarak hem çevre temizliğine hem de ucuz ürün elde edilmesine katkı sağlanacağı düşünülmektedir. Bu tip tasarımlar ve ürünler arttırılarak özellikle belediyeler için büyük bir sıkıntı olan bank ayağı, tabela, gibi ürünlerin gasp edilip hurda demir olarak satılması da engellenmiş olacaktır.

Teşekkür

Bu proje TUBİTAK (2209) BİDEB tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Budak, E.,Analytical models for high performance milling. Part I: Cutting forces, structural deformations and tolerance integrity. Machine Tools &Manufacture, vol 46, no. X, 1478-1488, 2006.

[2] Chen D., Fan J., Zhang F. 2012, "Dynamic and static characteristics of a hydrostatic spindle for machinetools", *Journal of Manufacturing Systems*, sayı 31, s.26-33.

[3] Rantatalo M.,Aidanpaa J.O., Göransson B., Norman P. 2007. "Milling machine spindle analysis using FEM andnon-contact spindle excitation and response measurement", *Machine Tools & Manufacture,* sayı 47, s.1034-1045.

[4] Cao, Y.,Altintas, Y. 2007. "Modeling of spindle-bearing and machine tool systems for virtual simulation of milling operations", Machine Tools & Manufacture, sayı 47, s.1342-1350.

PET (POLİETİLEN TEREFTALAT) GERİ DÖNÜŞÜM POLİMERİNİN PİRİNA İLE KARIŞTIRILARAK KOMPOZİT MALZEME ÜRETİMİ İÇİN HOMOJEN KARIŞTIRICI TASARIMI

UNIFORM MIXER DESIGN FOR THE PRODUCTION OF RECYCLING PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) – POMACE POLIMER COMPOSITE

Erhan ERDEM [a], Aydın ÇALIŞKAN [a], İbrahim KADI [b], Hatice EVLEN [b]
[a] Karabük Üniversitesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği, Karabük, Türkiye
E-posta: erhanmedre@gmail.com, aydincaliskan3@gmail.com
[b] Karabük Üniversitesi Endüstriyel Tasarım Mühendisliği, Karabük, Türkiye,
E-posta ibrahimkadi@karabuk.edu.tr, hakgul@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada PET (Polietilen Tereftalat) ile Pirina malzemesinin homojen olarak karıştırılması amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda literatürdeki benzer çalışmalar referans alınarak 1400 dev/dk motorla tahrik edilen maksimum 30 litre kapasiteye sahip oda sıcaklığı ile 350 ◦C sıcaklıklar arasında homojen karışım sağlayan bir karıştırıcı tasarlanmıştır. İş mili (karıştırıcının bağlı olduğu mil) motor miline kaplinle bağlanmıştır. Yapılan tasarımda karıştırma görevi klasik mikser çırpma kolları şeklinde tasarlanan kollarla gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen tasarıma göre karıştırıcı sistemi imal edilmiştir. Ön deneyler kapsamında, belirli oranlarda karıştırılan pet-pirina malzeme, imal edilen karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ön deneyler neticesinde karışımın optimum seviyede sağlandığı, ancak karıştırılan malzemenin karıştırıcıdan kalıba akışının sağlanamadığı tespit edilmiştir. Bunun neticesinde, tasarımda karıştırıcı kollarının bağlı olduğu ve motor miline kaplinle bağlanan mile helezon eklenmiştir. Böylece karıştırılan malzemenin kalıba gönderilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: PET, pirina, karıştırıcı, kompozit

Abstract

In this study, aimed to mixing the PET (Polyethylene Terephthalate) and Pomace homogeneously. For that purpose, with reference to the related literature, a mixer designed which driven with 1400 rev / min engine, a maximum of 30 liters capacity and temperature between room temperature - 350 ◦C that provides a homogeneous mixing. Spindle (the shaft of the mixer is connected) is connected with the coupling on the motor shaft. Mixing task were performed with the arms which designed as classic mixer flapping arms. According to the design mixer has been manufactured. On preliminary experiments PET-Pomace materials mixed in the mixer was stirred. Preliminary experiments showed that, provide the optimum level of the mixture, but the flow of mixed material from the mixer to the mold has been determined cannot be achieved. As a result, coil is added to mixing arm which connected to the shaft at the design. . Thus, the mixed material drain into the mold has been provided.

Keywords: PET, pomace, mixer, composite.

1. Giriş

Plastik kompozitleri; plastik endüstrisinde göreceli yeni bir malzeme grubu olup hızla büyüyen sektörlerden birisidir. Kompozit terimi farklı iki ya da daha fazla materyalin değişik yapıştırıcılarla bir araya getirilmesiyle oluşturulan malzemeleri ifade eder. Pirina kompozitleri terimi ise oldukça yeni bir terimdir ve Pirina (zeytin posası) yüksek mukavemeti ve kompozit malzeme olabilme özelliği ile plastiklerle tam bir karışım sağlayabilir.

Pirina ve PET kompozitlerinin özellikleri, parametrelere göre değişmekte; pirina suya dayanıklı, ahşap görünümünde bir yapı malzemesi elde edilmektedir. PET ile pirina karışım oranı artırıldığında, ahşap malzemenin yüzey sertliğinde azalma, işlenebilirlik özelliğinde artış kaydedilmektedir. Ayrıca, ahşap malzemelerde görülen çürüme, böceklenme, su tutma gibi birçok problemin pirina ve plastik kompozitinde görülmesi söz konusu olmamaktadır.

Tüm dünyada ve ülkemizde hızlı nüfus artışına paralel olarak orman kaynaklarına olan ihtiyaç hızla artmaktadır. Buna bağlı olarak da kaynakların cevap verememesi yeni alternatiflerin bulunmasını zorunlu hale getirmiştir. Ülkemizde atık halde bulunan PET ile geri dönüşüme yardım etmek ve atık zeytin posalarının diğer adıyla pirinaların tekrar hayata kazandırılarak pirinanın geri dönüştürülmesindeki problemler ortadan kaldırılacaktır. Atıl vaziyette olup kullanılmayan bu materyallerin kullanımı ile hem ülke ekonomisine hem de geri dönüşüme katkı sağlanacaktır. Ayrıca yeni ürünlerin geliştirilmesi ile bu materyaller için yeni pazarlar açılmış olacaktır [3]

Saf plastik malzemeden elde edilen ürünlere göre atık malzemeden elde edilen PET kompozitler geri dönüşüm açısından daha avantajlıdır. Kullanım ömrü dolan malzemenin yeniden geri dönüştürülmesi kolay olduğu gibi yeni atık oluşumunu önlemektedir.

Ülkemizde ve dünyada sayısız üründe plastik malzeme kullanılmakta ve bu malzemeler kullanıldıktan sonra atılıp hurdaya dönüşmektedir. Bu hurda plastiklerin geri dönüşebilmesi ve buna eklenecek pirinanın selülozik esaslı olması bu malzemenin plastik matrisli kompozitlerde dolgu malzemesi olarak kullanılabileceğini akla getirmiştir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Gürü, 2001 yılında yayınlanan çalışmasında uçucu kül ve pirinadan meydana gelen plastik kompozit malzeme karışımlarının avantaj ve dezavantajlarını belirlenmiştir. Pirinalı kompozitlerin diğer kompozitlerle karşılaştırılmasındaki avantajları göz önüne serilmiştir [1]. Güller'in 2001 yılında yaptığı çalışmada ise odun kompozitleri ve kullanımı ile ilgili genel bir literatür taraması yapmıştır.Odun kompozitlerinden üretilebilecek ürünler hakkında açıklamalar yapılmış ve bu ürünlerin kullanım alanlarına değinilmiştir [2]. Biltekin'in 2005 yılında yapmış olduğu Yüksek Lisans tezinde Odun talaşı ile Polietilen plastikleri belirli oranlarda karıştırıp, oluşturulan malzemenin mekanik özellikleri incelenmiştir. Ayrıca ürün üzerinde deformasyon ve termal deneylerde yapılmıştır [3]. Yıldırım'ın 2007 yılında yayınladığı Yüksek Lisans Tezinde Öğütülmüş fındık kabuğu ile poliprobilen matrisli kompozitlerden oluşturulan ürün üzerinde mekanik, darbe, çekme, sertlik ve yoğunluk testleri sırasıyla yapılmıştır. Araştırma sonucunda fındık kabuğu ve plastik kompozit malzemeden oluşan ürünün dayanımı araştırılmıştır [4].

Bu çalışmanın amacı PET malzeme ve pirina karışımıyla endüstriyel ürün malzemesi elde edilmesi için uygun homojen karıştırıcının tasarımının yapılmasıdır.

2. Karıştırıcı Tasarımı Ve İmalatı

Sistem tasarımı bilgisayar ortamında 3 boyutlu model olarak Solidworks programında yapılmıştır. Bu modelleme, karıştırıcı sisteminin en son halinin ortaya çıkarılması için yapılmıştır (Şekil 1). Kullanılacak hazır elemanlar ve üretimi gerçekleştirilecek olan parçalar belirlenmiştir.

Şekil 1. Karıştırıcı tasarımı için gerçekleştirilen 3 boyutlu model

3 boyutlu katı modelleme yöntemiyle tasarımı yapılan karıştırıcının gövdesi 'ev tüpü' kesilerek oluşturulmuştur. Plastik malzemenin karıştırma esnasında erimesini sağlamak için gövdenin etrafına rezistans döşenmiştir.(Şekil 2) Olası ısı kaybının önlenmesi için rezistans üstü izocam ile kaplanmıştır. Hazneye yerleştirilen plastik malzemenin kalıba aktarılması için bir vana yerleştirilmiştir. Hazne içerisinde biriken buhar basıncını ve argon gazını dışarı atabilmek için çekvalf kullanılmıştır. Bu arada diğer yandan karıştırıcı mikser vasıtasıyla haznedeki plastik ve pirina malzeme sürekli karıştırılacaktır. PET – pirina karışımıyla oluşturulan kompozit malzemenin homojen karışımı sağlanınca malzeme kalıplama veya basma işlemine uygun hale getirilmiş olacaktır.

Şekil 2. Gövde İmalatı

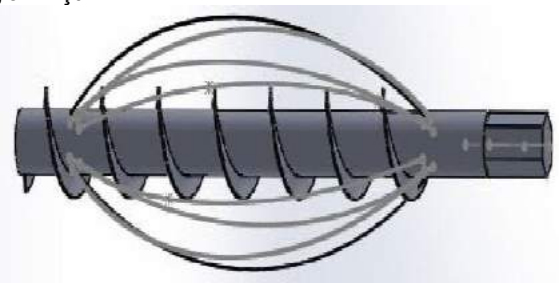
Sistem kurulumu için parça temini, satın alımı ve montajı gerçekleştirilmiştir. Hazne kapağına monte edilmiş olan motor, karıştırıcıyı döndürmektedir. Böylece motordan alınan tahrik gücüyle, kompozit malzeme karıştırılabilmektedir. Sistemde 1400 d/dk'lık 3 fazlı motor kullanılmıştır. Karıştırılma anındaki sıcaklık termokupllar vasıtasıyla ölçülmektedir. Elde edilen sıcaklık ve ulaşılmak istenen sıcaklık değeri PID (Proportional-Integral-Derivative) kontrol ünitesinden okunabilmekte ve kontrol edilebilmektedir (Şekil 3).

Şekil 3. Sistemin montajı tamamlanmış hali

Gerçekleştirilen karıştırıcı tasarımında literatürde yapılan çalışmalar dikkate alınmıştır [3]. Buna göre ilk olarak karıştırıcı olarak sadece mikser kolları kullanılmıştır. (Şekil 4). Gerçekleştirilen ön deneylerde malzemenin homojen olarak karıştırılabildiği, ancak boşaltma sırasında sorunlar ortaya çıktığı görülmüştür.

Şekil 4. Mikser kolları şeklinde yapılan karıştırıcı

Yapılan ön deneylerden yola çıkılarak (Şekil 4) karıştırıcı mikser kollarının bağlı olduğu mile helezon şeklinde yeni bir karıştırıcı tasarımı eklenmiş ve imalatı gerçekleştirilmiştir (Şekil 5). Bu şekilde hazne içerisinde homojen şekilde karışan malzemenin hazne dışına akışı sağlanmıştır.



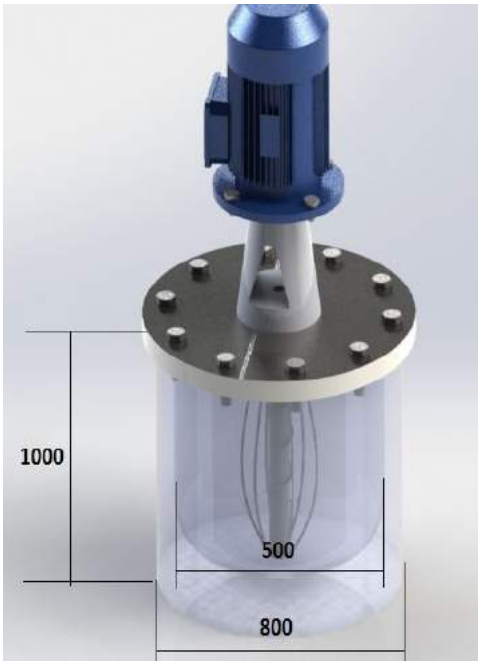
Şekil 5. Helezon Milli Karıştırıcı

Şekil 6. Yapılan değişiklikler sonunda oluşan sistem

Eklenen helezonla birlikte pet-pirina kompozit malzeme karışımı için tasarlanan karıştırma ünitesi tasarımı Şekil 6.' daki son halini almıştır. Sistemin teknik özellikleri Çizelge 1.' de, dış boyutları Şekil 7.' de verilmiştir.

Çizelge 1. Karıştırıcı sistemi teknik özellikleri.

Sistem Özellikleri	Max.	Min.
Hazne Kapasitesi	20 Lt.	4 Lt.
Sıcaklık	350 ◦C	Oda sıcaklığı
Motor Devri	1400 dev/dk.	



Şekil 7. Sistem genel boyutları

3. Sonuç

Kompozit malzeme üretiminde çeşitli sorunlarla karşılaşılmaktadır. Bu sorunların giderilmesiyle üretim maliyeti hammadde sarfiyatı gibi olumsuz etkenler önlenebilmektedir. Kompozit malzeme üretimi için uygun karıştırıcı tasarımının yapılması ile homojen bir kompozit, ekonomik bir üretim, zamandan tasarruf ve ülke ekonomisine katkı sağlanabilecektir.

Gerçekleştirilen ön deneylerin sonucunda PET – Pirina kompozitinin karıştırma kolları ile rahatlıkla karıştırılabildiği, ancak kompozit malzemeyi kalıba göndermek için bu kolların yetersiz kaldığı görülmüştür. Karıştırıcıda elde edilen kompozit malzemenin kalıplanabilmesi için tasarıma ayrıca vida şeklinde helezonun eklenmesi gerektiği görülmüştür.

Ayrıca karıştırma işlemi esnasında yüksek sıcaklık (200-250 ◦C) uygulandığından, plastiğin ergitilmesinde ortaya çıkan gaz oksijenle buluştuğunda yanıcı bir etki göstermiştir. Bu durum gerçekleştirilen ön deneylerde tespit edilmiş, asıl deneyler esnasında yanmayı engelleyecek kimyasallar kullanılması gerektiği tespit edilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma 2013 yılında TÜBİTAK(BİDEP 2209) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] Gürü, M., " Uçucu kül ve pirinadan plastik kompozit malzeme üretimi", Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, 2001 Ankara

[2] Güller, B., "Odun kompozitleri" Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, Yıl: 2001, ISSN: 1302-7085, Sayfa:135-160.

[3] Biltekin, H., "PE ve PP polimerlerine ahşap tozu ilavesi ile oluşturulan karışımların mekanik, termal ve morfolojik özelliklerinin incelenmesi " T.C. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , 2005 İstanbul.

[4] Yıldırım, A., "Öğütülmüş fındık kabuğunun polipropilen matrisli kompozitlerde kullanılabilirliği", Yüksek Lisans Tezi Metal Eğitim Anabilim Dalı Metal Eğitimi Programı Yüksek Lisans Tezi, 2007 İstanbul.

AA 5754 SAC MALZEMELERİN METAL SIVAMA VE HİDROLİK AKIŞKANLA ŞEKİLLENDİRİLMESİNDE UYGULANILAN KUVVETİNİN ETKİLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF EFFECTS OF THE FORCE APPLIED IN SHAPING AA5754 SHEET METAL BY METAL SPINNING AND HYDROFORMING

Mustafa YAŞAR [a], İsmail ALTIN [b]
[a] Karabük Üniversitesi, Karabük/Türkiye, E-posta: myasar@karabuk.edu.tr; ismail.altin.89@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, hidrolik şekillendirme ve metal sıvama yöntemleri için 1mm et kalınlığında 180 mm çapında AA5754 sac malzemeler kullanılmış ve kalıp model tasarımı gerçekleştirilmiştir. AA 5754 sac malzemelerin oda sıcaklığında elde edilen deneysel numune sonuçlarından şişme yüksekliği ve et kalınlık dağılımı ölçülerek şekillendirilebilme ve şekillenebilirlik limitleri iyileştirilmeye çalışılmıştır. Her iki şekillendirme yöntemi ile yapılan çalışmalar, ANSYS/LS-DYNA yazılımı kullanılarak çözümlenecek ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: AA 5754, Metal Sıvama, Hidro Şekillendirme, ANSYS, Kalınlık dağılımı.

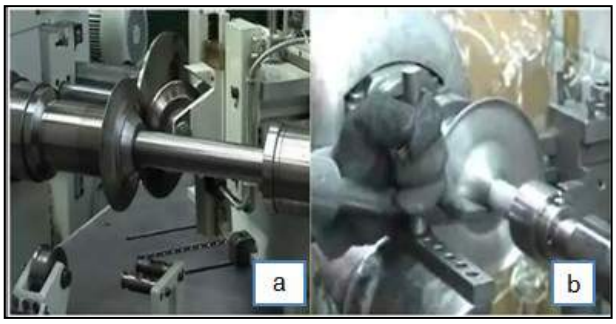
Abstract

In this study, 1mm thick and 180 mm diameter AA5754 sheet materials are used for hydraulic forming and metal spinning and mold model design was carried out. Formability and formability limits tried to improve by measuring swelling height and wall thickness distribution from the results of experimental samples of AA5754 sheet materials obtained at room temperature. Studies with both forming methods analyzed by using ANSYS / LS-DYNA software, and the results compared.

Keywords: AA 5754, Metal Spinning, hydro-forming, ANSYS, thickness distribution.

1. Giriş

Sıvama, sac veya boru biçimli malzemelerin, kendi eksenleri etrafında döndürülürken, çeşitli takımlar ile uygulanan radyal ve/veya eksenel yönde kuvvetler neticesinde şekillendirilmesidir (Şekil 1). Sıvama ile islenecek parçalar dönme eksenine göre simetriktirler; örneğin dairesel kesilmiş plakalar, borular, v.b. gibi geometridedirler. Sıvama, bu tanıma uygun olan fakat birbirinden farklı birçok yöntemi kapsar. İşlem esnasında, sıvama tipine göre, malzeme belirli bir kalıbın üzerine sıvanarak şekillendirilebileceği gibi belirli bir kalıp geometrisi olmadan, boşlukta da şekillendirilebilir. Şekillendirme, işlemin gereklerine göre soğuk veya sıcak olarak yapılır. Sıvama ile imalatta, talaş kaldırılmaması ve imalat hızının yüksek olması, sıvamayı cazip kılan temel etmenlerdir [1].



Şekil 1. a) Röle ile şekillendirme b) Kaşık ile şekillendirme

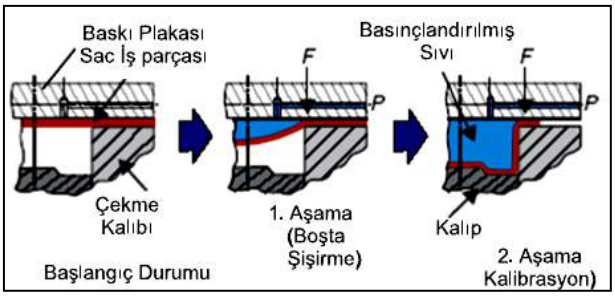
1.1 Hidro Şekillendirme

Yüksek basınç altında şekillendirme (Hydroforming) işleminde kalıp tarafından sıkıştırılmış içi boş yapıya sahip borunun içine veya sac üzerine yüksek basınçlı akışkan gönderilerek borunun/sacın cidarlarının kalıbın geometrisine göre genişlemesi ve istenen şekle getirilmesidir [2].

Hidrolik akışkan şekillendirme işleminde akışkanın sıkıştırılamaz özelliğinden dolayı şekillendirme sırasında oluşan basınç etkisiyle malzemeler şekillendirilmektedir. Sac hidrolik şekillendirmede sacın bir yüzüne basınçlı sıvı verilerek, sac kalıbın şeklini almaya zorlanır (Şekil 2).

Otomotiv, uçak ve uzay endüstrisinde kullanılan malzemenin önemi kadar bu malzemenin şekillendirilmesinde kullanılacak teknoloji ve hafif araçlar üretmek de şu an olduğu gibi gelecekte de önemini koruyacaktır. Diğer şekillendirme metotları kullanılarak üretilen karmaşık şekle sahip bir elemanda, kaynak işleminde olduğu gibi, ürün birkaç parçadan oluşmakta, daha ağır olmakta, boyutsal hassasiyeti çok iyi olmamakta ve dolayısıyla bunların hepsi maliyeti arttırmaktadır. Birkaç özel üretim yöntemi ile elde edilebilecek bir otomotiv yada uçak parçası yüksek basınç altında şekillendirme işlemi kullanılarak, bir defada şekillendirilebildiği için, bu tip malzemelerin üretilmesi konusunda diğer üretim yöntemlerine göre hidrolik şekillendirme işlemi büyük avantaj sağlamaktadır [2].

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye



Şekil 2. Sac hidrolik şekillendirme

5xxx serisi alüminyum alaşımlarının düşük yoğunlukları, kaynak kabiliyeti, korozyon dayanımı, yüksek mukavemet-ağırlık oranı gibi avantajları büyük ebatlı geometrilerin oluşturulmasında tercih edilmelerini sağlamaktadır [3]. Bununla birlikte, geleneksel derin çekme kalitesindeki çelik saclarla kıyaslandıklarında zayıf şekillenebilme kabiliyetleri ve şekillendirme sonrası iyi bir yüzey kalitesinin elde edilememesi bu alaşımları dezavantajlı duruma düşürmektedir [3]. Bu sorun özellikle kompleks geometrili parçaların şekillendirilmesinde daha çok görülmektedir.

2. Deneysel Çalışmalar

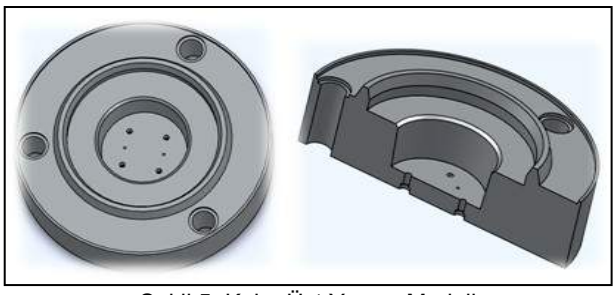
Çalışmanın deneysel uygulamaları Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde kurulmuş olan hidro şekillendirme ünitesinde gerçekleştirilmiştir. Sac hidro şekillendirme işlemi için Ç1040 orta karbonlu imalat çeliğinden Ø102mm çapında 40mm derinliğinde (Şekil 3.) silindirik geometrili kalıp hazırlanmıştır [4].

Şekil 3. Kalıp

Şekil 4. Hidro şekillendirme presi ve kalıp

Şekillendirme esnasında kalıp ve sac malzeme arasındaki sürtünmeyi azaltmak ve sacın kalıp yüzeyine sıvanmasını engellemek için kalıp yüzeylerine 55Rc (Rockwell) değerinde sertleştirme işlemi yapılmıştır. Hidrolik akışkanla şekillendirme işlemi için hazırlanan kalıp sistemi 160 Ton yük uygulayabilme kapasiteli, 40 MPa yağ basıncı ve 380mm strok uzunluğuna sahip Hidroliksan marka doğrultma presine bağlanarak gerçekleştirilmiştir.

Sistemde pot basıncını tek eksenli yük uygulayan pres koçu sağlamaktadır. Kalıp alt ve üst yarımları birbirine çevrede 3 adet sütun ile merkezlenmektedir. Şekillendirmeyi sağlayan hidrolik akışkan basıncı 160 MPa basınç kapasiteli hidrolik güç ünitesi ile sağlanmaktadır.

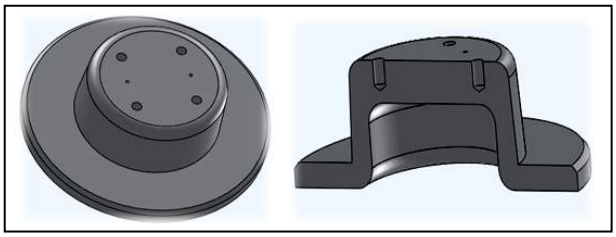


Şekil 5. Kalıp Üst Yarımı Modeli

İç kalıbın bağlandığı kısımdır. Demonte olan iç kalıbın rahat sökülüp takılabilmesi için yuvaya içerden dışarı doğru 3 derecelik açı verilmiştir. Şekillendirme sonrasında yüksek iç basınç oluşacağından o-ringlerin patlaması veya herhangi bir sızıntı durumunda sıcak yağın çevreye yayılmasını önlemek için alt tarafa 5 mm fatura bulunmaktadır.

Böylece kalıptan taşan yağ kalıbın altına taşırılmaktadır. Alt ve üst kalıbı eş eksenli olarak merkezleyebilmek için çevrede 3 adet, eşit açı ile dağıtılmış 25mm çapında indüksiyonla sertleştirilmiş, krom kaplı kolon mili kullanılmıştır. Kolon millerini yataklamak için 50 Rc (Rockwell) sertliğinde 3 adet şapkalı burç kullanılmıştır. Üst kalıp yarımı modeli Şekil 5' de görülmektedir.

Çekirdek kalıp değişik şekillerde parçalar imal edilebilmesi için demonte olarak tasarlanmıştır. Üst kalıp yarımına rahat girip çıkması için dişi kalıp yuvasına ve kalıbın dış çeperlerine 3 derecelik açı verilmiştir. Isıl işlemle sertleştirilmeye tabi tutulmuştur (Şekil 6).

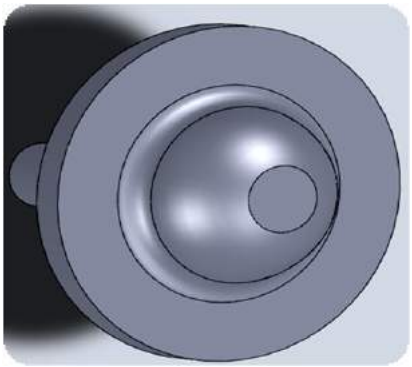


Şekil 6. Çekirdek kalıp

Kalıp alt yarımındaki yağ giriş kanalı, giriş hortumunun ucundaki rekorun pasosuna göre tasarlanmıştır. Yağın tahliye deliği, yağın tamamının tahliye edilebilmesi için iç haznesinin tabanına dıştan merkeze doğru 10 derece eğim verilerek merkezden delinmiştir. Şekillendirme işlemi bittikten sonra yağın tahliyesi yüksek basınca dayanıklı

vananın açılması ile yapılmaktadır. Kalıp alt ayrımı da Ç1040 orta karbonlu imalat çeliğinden imal edilmiştir (Şekil 6).

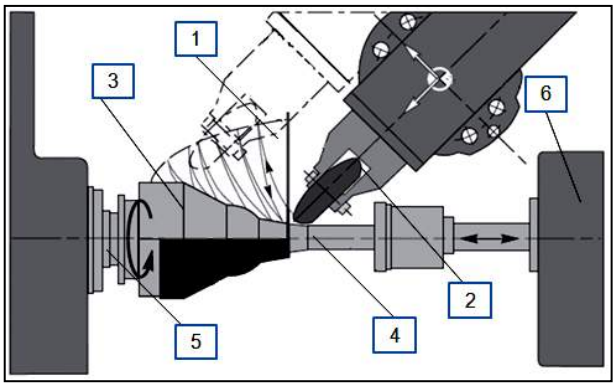
Metal sıvama kalıbı hidrolik akışkan şekillendirme kalıbıyla elde edilen numuneye göre metal sıvama kalıbı tasarlanmıştır. Kalıp üzerinde sıcaklık değişimi olmayacağından dolayı ısıl işleme tabi tutulmayacaktır. Kalıp dış çapı 190 mm,iç çap 102 mm, derinlik 40 mm ve kalıp radyüs 12 mm ve kalıp tepe noktası sac malzeme rahat bir şekilde sabitlenmesi için düzeltilmiştir. Metal sıvama kalıbı Ç 1040 orta karbonlu imalat çeliğinden imal edilmiştir (Şekil 7).



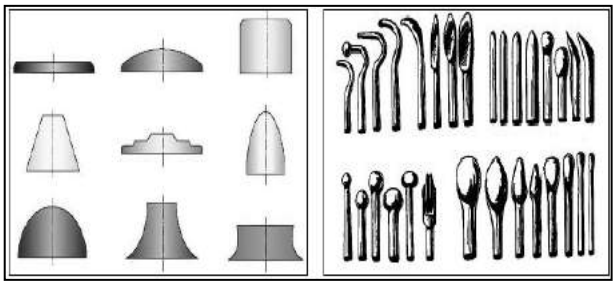
Şekil 7. Metal sıvama kalıbı

Metal sıvamanın genel çalışma prensibi sekil 8 ’de görülmektedir. Sıvama kalıbı (3), fener mili grubu olarak da tabir edilen bir güç aktarım mekanizmasının ana miline (5) bağlanmıştır. Ana mil dönme ekseni ve karsı baskı grubu (7) dönme ekseni ortaktır ve bu eksen makinenin çalışma ekseni (Ç.E.) olarak kabul edilir. İş parçasının merkez ekseni de bu çalışma eksenine sabitlenmelidir. Burada, örneğin, disk biçiminde kesilmiş veya derin çekme ile imal edilmiş bir is parçası (1), karsı baskı grubuna (7) bağlı bir baskı elemanı (4) vasıtası ile sıvama kalıbına (3) bastırılır ve bu iki eleman arasında sabitlenir. Böylece is parçası makineye bağlanmış/yüklenmiş olur. Daha sonra fener mili grubuna bağlı ana motor dönmeye baslar ve dolayısıyla, sıvama kalıbı, is parçası ve karsı baskı grubu da dönmeye başlarlar. X ve Z eksenlerinde hareket kabiliyetine sahip şekillendirme rölesi (2) dönmekte olan is parçasını şekillendirir. Bu esnada röle de is parçasına temasından dolayı sürtünme kuvveti etkisiyle dönmektedir. Şekillendirme işlemi, is parçasının kalıba tamamen sıvanmasıyla sona erer [5]. Bu çalımsa prensibi tüm sıvama tiplerinde benzerdir ancak rölenin çalışma eksenleri, makine konstrüksiyonu ve röle sayıları gibi özellikler sıvama tipine ve yapılan isleme göre farklılıklar gösterir.

Endüstriyel sıvama makineleri, kendi ekseni etrafında dönen röleler ile şekillendirme yapmaktadırlar. Bir sıvama makinesinde rölenin veya rölelerin dönmesi, is parçasının dönmesi sayesinde gerçekleşir. İs parçasına bastırılan röle, is parçası ile arasında oluşan sürtünme kuvveti vasıtasıyla, is parçası tarafından döndürülür (Şekil 9). Modern sıvama makinelerinde, dönen takımlar kullanılırken, elle sıvama yapılan makinelerde genellikle kasık tipi takımlar kullanılırlar [5].



Şekil 8. Metal Sıvama Şematik Gösterim



Şekil 9. Çeşitli röle ve kaşık çeşitleri

Çalışmada, şekillendirilecek malzeme olarak Al 5XXX serisinden 1 mm kalınlığında Al 5754 sac malzeme kullanılmıştır. Çizelge 1’de alüminyum malzemenin kimyasal özelliği verilmiştir.

Çizelge 1. Deneylerde kullanılan malzemenin kimyasal özellikleri

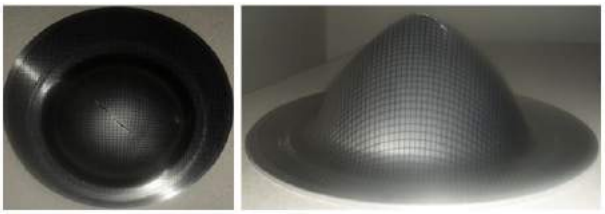
Al	Mg	Si	Cu	Fe	Mg	Cr	Ti
Kalan	<2.6- 3.6	<0.4	<0.1	<0.4	<0.5	<0.3	<0.1

Bu çalışmada kullanılan AA5754 sacının diğer standartlardaki karşılığı Çizelge 2‘de verilmiştir.

Çizelge 2. AA5754 Alüminyum malzemesinin diğer standartlardaki karşılığı

Etial	TSE	Almanya (DIN)	A.B.D (AA)	Fransa (NF)
Etial-53	$AlMg_3$	$AlMg_3$	5754	$A\text{-}G_3$
Etial	İngiltere (BS)	İtalya (UNİ)	ISO	
Etial-53	N-5	$P\text{-}AlMg_{3,5}$	$AlMg_3$	

Şekil 9. 60 Bar basınç ’da oda sıcaklığında numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü



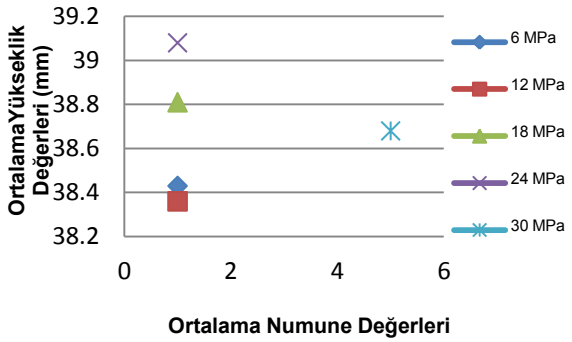
Şekil 10. 120 Bar basınç 'da oda sıcaklığında numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

Şekil 11. 180 Bar basınç 'da oda sıcaklığında numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

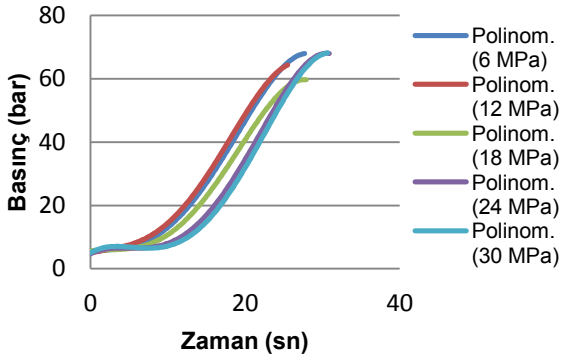
Şekil 12. 240 Bar basınç 'da oda sıcaklığında numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

Şekil 13. 300 Bar basınç 'da oda sıcaklığında numunenin şekillendirme işlemi sonrası fotoğraf görüntüsü

Gerçekleştirilen hidro şekillendirme işlemi neticesinde elde edilen numunelerin şişme yükseklikleri ve kalınlık dağılımları ölçülmüştür. Şişme yükseklikleri atölye ortamında mihengir ölçülmüştür. Farklı pot baskı basınç numune değerlerine göre şişme yükseklikleri grafikleri elde edilmiştir.



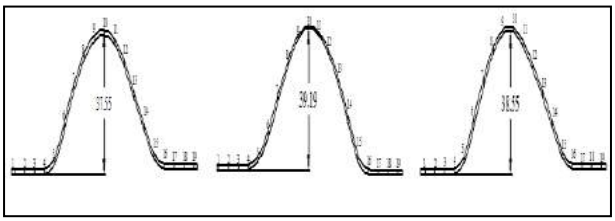
Şekil 14. Şişme Yüksekliği



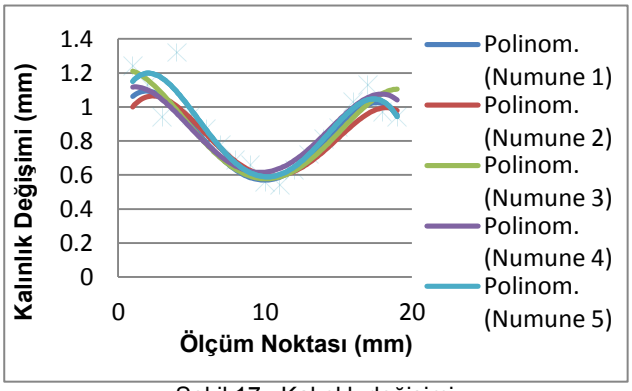
Şekil 15. Şekillendirme Sonrası Basınç Zaman Grafiği

Basınç zaman grafiğine bakıldığında zaman artıkça basınç değerleri de artmaktadır. Yağ basınç değerinin en yüksek olduğu pot baskı basıncı 24 MPa olduğu görülmektedir. Şişme yüksekliğiyle karşılaştırıldığı zaman basınç ile orantılı olarak değişmektedir .Şişme yüksekliği grafiğine görüldüğü gibi yağ basıncı yüksek olan yükseklik değerleri de yüksektir.

Deney sonucu elde edilen numuneler merkezden uzaklaşan bir çizgi boyunca kesilerek numune kalınlık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Her bir numune üzerinden 19 farklı noktadan (Şekil 16) kesilerek kalınlık ölçümü yapılmıştır. Kalınlık ölçüm değerleri Şekil 17'de verilmiştir.



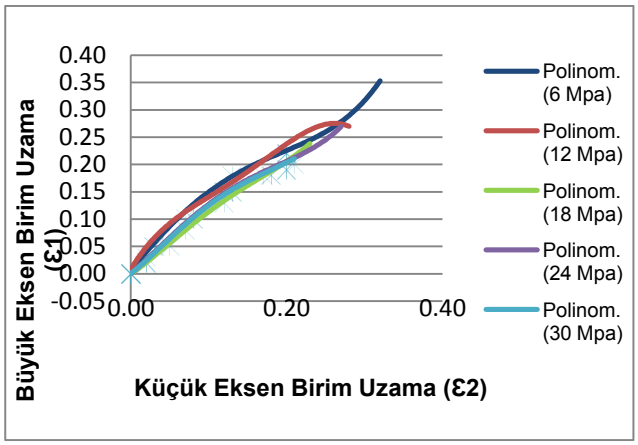
Şekil 16. Kalınlık değerleri ölçülen noktalar



Şekil 17 . Kalınlık değişimi

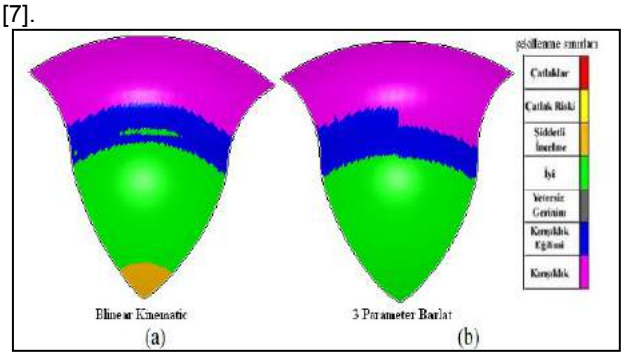
Ayrıca malzeme kalınlığının flanş bölgesinde arttığı, tepe noktasına doğru homojen olarak azaldığı grafiklerden görülmektedir (Şekil 17). Kalınlık ölçüm değerlerine göre malzeme flanş bölgelerinde (0 ve 5 nolu bölgeler arası) ani kalınlık değişimlerinin meydana geldiği görülmektedir. Bu da şekillendirme işlemi esnasında flanş bölgelerinde kırışıklıkların oluşmasından ve kalıp kavislerindeki zorlanmadan ötürü meydana gelen malzeme yığılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Literatüre göre hidro şekillendirme işlemi neticesinde flanş

bölgesinde malzeme yığılmasından dolayı kalınlığın yüksek çıkmasının beklenen bir davranış olduğu belirlenmiştir [6]. Ayrıca şekillenen malzemelerin radüs bölgelerinde ani incelmeler görülmüştür.

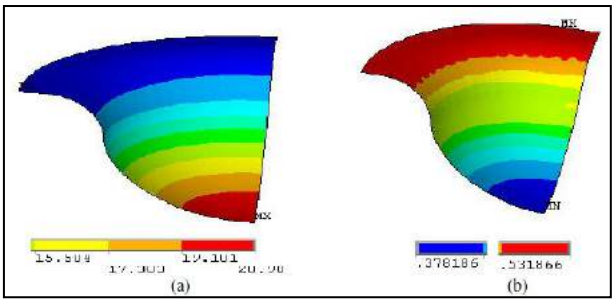


Şekil 18 . Şekillendirme Sınır Diyagramı

Elmas Aşkar ve Mustafa Yaşar'ın yaptıkları çalışmada hidro şekillendirme yöntemiyle zımbasız hidro-mekanik yöntemi kullanılarak, 0,5 mm kalınlığında küçük çaplı Al 5754 sacının şekillenebilirliği iki farklı malzeme modeline göre teorik olarak incelenmiştir. Küçük çapta alüminyum şekillendirilmesinde uygun sıvı basıncı ve pot baskı kuvveti bulunması ile çekme derinlikleri araştırmışlardır. Şekillendirmenin teorik modeli eksplisit dinamik analiz kodu kullanan ANSYS/Ls-Dyna yazılımı kullanılarak model çözümlenmiş ve şekillendirme sınır limit diyagramlarını elde etmişlerdir. Bizim çalışmamızda yapılan deney sonuçları teorik olarak ANSYS/Ls-Dyna yazılımı kullanılarak deney sonuçları karşılaştırması yapılacaktır [7].

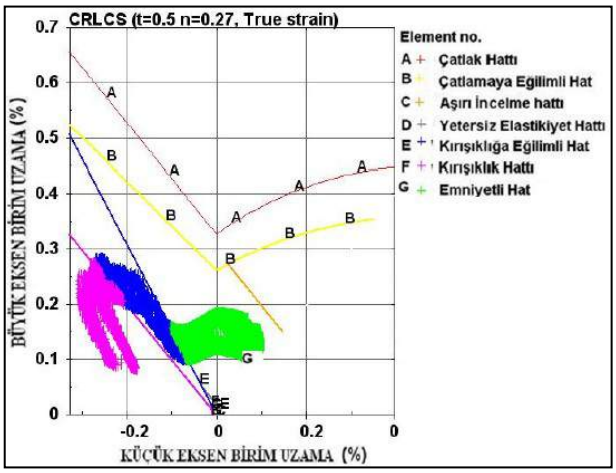


Sekil 19. Küçük çapta şekillendirilmiş Al 5754 şekillenme sınırları değişimi. a) Blineear Kinematic, b) 3 Parameter Barlat.



Sekil 20. Küçük çapta şekillendirilmiş Al 5754. a) Çekme derinliği, b) Kalınlık değişimi.

Teorik modelden Al 5754 sacın şekillendiğini incelemek amacıyla teorik modelden elde edilen sonuçlardan yararlanmak için Sekil 21'de Şekillendirme Sınır Diyagramı (SSD) oluşturulmuştur. Şekillendirme sınır diyagramı incelendiğinde flanşlarda ve yan duvarlarda kırışıklık ve kırışıklığa eğimli bölge oluştuğu, şekillenmenin emniyetli bölgede gerçekleştiği görülmüştür [7].



Şekil 21. Küçük çaplı Al 5754 sacının S.S.D.

3. Sonuçlar

Yapılacak olan çalışmada AA 5754 sac malzemenin oda sıcaklığında hidrolik akışkan şekillendirme ile metal sıvama karşılaştırma yapılacak elde edilen sonuçların şişme yüksekliği ve kalınlık değişimi açısından değerlendirilecektir. Bu sonuçlar elde edilmesi hedeflenmektedir.

- Hidrolik akışkan ile şekillendirmede malzeme kalıp derinliği kadar şişeceği tahmin edilmekte ve şişirme işlemine devam edildiği takdirde kısa bir süre sonra tepe bölgesinden patladığı görülecektir.
- Sac malzemeye farklı baskı plakası kuvvetlerinde şekillendirme işlemi uygulanacaktır.
- Numunelerin şişme yüksekliklerine göre pot baskı kuvvetinin arttırılması malzemenin kaymasını ve şekillenmesini engellenmesi tahmin edilmekte, azaltılmasıyla da malzemenin kırışmasına ve kırışıklık bölgelerinden yağ kaçırarak malzemenin şişmesine engel teşkil etmesine sebep olacaktır.
- Numunelerin şişirme işlemi sonrasında kalınlıklarının homojen olarak değiştiği görülecektir ve kalıp radüs bölgelerinde malzeme yığılması gerçekleşmesinden dolayı kalınlığın arttığı görülecektir. En düşük malzeme kalınlığı değeri şişme bölgesi tepe noktasında elde edilecektir.
- Metal sıvama ile şekillendirmede malzeme kalıp geometrisine göre şekillendirme tahmin edilmektedir. Şekillendirme işleminin bittikten sonra kalınlık değişim kontrolü yapılacaktır.
- İki şekillendirme yöntemiyle elde edilecek numuneler ANSYS programıyla karşılaştırma yapılacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Karabük üniversitesi BAP birimi tarafından desteklenmiştir. Proje no: K.B.Ü-B.A.P-13/2-YL-031, proje başlığı: "AA 5754 Sac Malzemelerin Metal Sıvama ve Hidrolik Akışkanla Şekillendirilmesinde Uygulanılan Kuvvetinin Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi". Desteklerinden ötürü BAP birimine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Gün B. "Sıvama yöntemleri ve sıvama makinesi tasarımı" Yüksek Lisans Tezi G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Tasarım ve İmalat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gebze 2007.

[2] G. Çelikayar, "Yüksek basınç altında metallerin şekillendirilmesi", III. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, s. 29.

[3] S. Toros, F. Öztürk, İ. Kaçar, ―Review of warm forming of aluminum–magnesium alloys‖, Journal of Materials Processing Technology 207 (2008)1–12

[4] Evlen B. "Çelik sacların hidrolik akışkanla şekillendirilmesinin teorik ve deneysel olarak incelenmesi" , Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Makine eğitimi anabilim dalı, Yüksek Lisans tezi, Karabük (2011).

[5] H. Palten, D.Palten, Metal Spinning From Ancient Art To High Tech Industrie, Metalforming Magazine, 2002

[6] X. Xu, S. Li, W. Zhang, Z. Lin, "Analysis of thickness distribution of square-sectional hydroformed parts", Journal of Materials Processing Technology 209 (20 09) 158–164

[7] Aşkar E, "Hidrostatik Basınçla Alüminyum Sacın Şekillendirilmesinin İncelenmesi" Karabük Üniversitesi, Fen bilimleri enstitüsü, Makine eğitimi anabilim dalı, Yüksek Lisans tezi, Karabük (2011).

FARKLI ZIMBA TASARIMI VE BÜKME YÖNTEMLERİNİN GERİ ESNEME ÜZERİNE ETKİSİ

DETERMINATION ON THE EFFECT OF SPRINGBACK BY USING DIFFERENT PUNCH DESIGN AND BENDING METHODS

Ramazan ÖTÜ [a], Halil İbrahim DEMİRCİ [b]
[a] Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, T.B.M.Y.O., Rize, Türkiye, E-posta: ramazanotu@hotmail.com
[b] Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, E-posta: hdemirci@karabuk.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, endüstriyel ürünlerde yaygın olarak tercih edilen AA 1050-O sac malzemesine Deneysel Yöntem (DY) ve Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY) ile farklı farklı tasarımlar ile V bükme yöntemleri kullanılarak şekillendirme işlemi uygulanmıştır. Çalışmada zımba uç yarıçapları 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan 60^0 ve 90^0'lik V şeklinde kalıplar tercih edilmiş, hadde yönü 0^0, 45^0 ve 90^0 olan 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki saclar bükülmüş, bilgisayar ortamında değerlendirilerek geri esneme grafikleri hazırlanmıştır. Literatürde sıklıkla uygulanan tasarım yöntemlerinden dört farklı bükme yöntemi, iki farklı kalınlıktaki alüminyum sac malzemeler için en az 3'er tane olmak üzere 432 adet deney numunesi DY uygulanarak bükülmüştür. Aynı bükme yöntemleri ile yaklaşık 12 adet deney numunesi SEY uygulanarak bükülmüştür. Grafiklerin kullanılabilirliği tartışılarak geri esneme değerleri açısından dört farklı bükme metodu içerisinden ikisinin uygun olmadığı tespit edilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler incelendiğinde sac malzeme kalınlığının artmasının ve zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttığı, sac malzemenin hadde yönünün geri esnemede etkili olduğu, zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı, DY ile SEY'in sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum sac malzeme, tasarım yöntemleri, geri esneme, V bükme, deneysel yöntem, sonlu elemanlar yöntemi.

Abstract

In this study, a forming process was applied to AA 1050-O sheet materials that are frequently used in the industry with Experimental Method (EM), using different V bending methods. The AA 1050-O sheets with a thickness of 1 mm and 2 mm and the rolling directions of 0°, 45°, and 90° were used. The V shaped dies of angles 60° and 90° having punch radiuses of 2 mm, 4mm, and 6 mm respectively were bended. By using EM, four different bending methods were applied on 432 specimens and for the each case the experiment was performed three times. To compare the results, 12 specimens were tested by applying different bending methods, using Finite Elements Method (FEM). The results were obtained in the form of numerical values and to analyse the results the graphs were plotted for each condition. The results showed that, out of four bending methods two methods are inconvenient in terms of their springback amount and the rolling directions of the sheet materials have an impact on the springback amount. It was also observed that the increase in the thickness of the sheet material and the duration of keeping the punch on the die decreases the springback values. The results obtained through EM and FEM were in good agreement.

Keywords: Aluminium sheet material, design methods, springback, V bending, experimental method, finite elements method.

1. Giriş

Alüminyum sac malzemeler endüstride geniş bir uygulama alanı bulmaktadır. Bu malzemeler özellikle otomotiv, uzay, savunma, gemi, beyaz eşya, reklamcılık ve birçok alanda hafiflik ve korozyona karşı dayanıklılık özelliklerinden dolayı en sık kullanılan malzemelerden olmuştur. Bu üstün özelliklerine rağmen alüminyum alaşımları ile parça üretimi esnasında birçok problemlerle karşılaşılmaktadır. Alüminyum alaşımlarında düşük elastisite modülü (E) değerinden dolayı geri esneme problemi gözlemlenmektedir. Özellikle eğme işlemlerinde malzeme üzerine uygulanan yükün kaldırılmasından sonra malzemenin var olan elastik enerjiyi geri vermesi sonucu doğan geri esnemeden dolayı, istenen boyutlar bu malzemelerden elde edilen ürünlere tam olarak verilememektedir. Bu durum özellikle parçaların montajı esnasında büyük sıkıntılar oluşturmakta, hataların düzeltilmesi için harcanan zaman, maliyet artışına ve gecikmelere sebep olmaktadır [1-2].

Bükme işlemi sac levhaya kalıcı bir eğrilik verilmesi amacıyla doğrusal bir eksen etrafında uygulanan şekillendirme yöntemidir. Bükme işleminde, sac levhanın iç ve dış yüzeylerinde tarafsız eksenden uzaklıkla orantılı olarak birim şekil değişimleri meydana gelmektedir. Dolayısıyla, bükme işlemi ile birlikte tarafsız eksen iç yüzeye doğru kaydığından, dış yüzeyde meydana gelen birim şekil değişimleri, iç yüzeydeki liflerde meydana gelen birim şekil değişimlerinden daha fazla olmaktadır. Plastik deformasyonla birlikte hacim sabitliği söz konusu olduğundan, sac malzemenin kalınlığında incelme meydana gelmektedir [3].

Bükmede kalıcı sekil değişikliği söz konusudur. Malzemede kalıcı sekil değişimi meydana getirmek

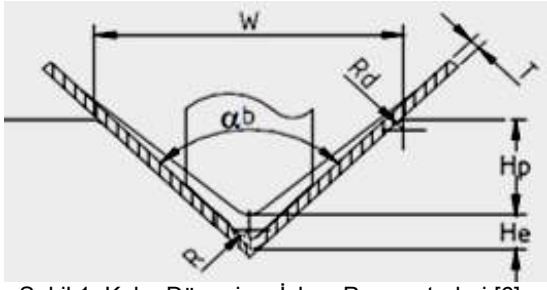
© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

çeşitli gerilmelerin ortaya çıkmasına neden olur. Bükmenin sağlıklı yapılabilmesi, meydana gelecek gerilmeleri belirli sınırlar içerisinde tutmayı zorunlu kılar. Parça tasarımı açısından bükme kavisinin iyi belirlenmesi gerekir. Bükme açısı büyüdükçe dış tabakalardaki uzamalar da artacağından yırtılma olasılığı fazlalaşır. Bu bakımdan uygulanacak en küçük bükme kavisinin belirlenmesinde bükme açısının da dikkate alınması gerekir [4].

Sac metal levhaların bükülerek şekillendirilmesinde istenilen form uygun bir zımba kalıp yardımı ve yeterli kuvvetler ile malzemeye uygulanır. Elde edilen parça elastik ve plastik deformasyonun karışımı ile oluşur. Parça üzerinden kuvvetler kaldırıldığında parça bir miktar eski haline dönme eğilimi gösterir ki bu davranışa "geri esneme" adı verilir.

Bükme işleminde geri yaylanma malzemenin cinsine, malzeme kalınlığına, sacın hadde yönüne, bükme açısına, bükme yarıçapına, matris ve zımba arasındaki kalıp boşluğuna, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi ve yağlama koşulları gibi birçok parametreye bağlıdır. İstenen kabul edilebilir formu elde edebilmek için bu parametrelerin etkilerinin en aza indirilmesi gerekmektedir. Parametrelerden bazıları Şekil 1'de gösterilmiştir [5].

Bu çalışmada, kalıp tasarımı ve bükmeyle ilgili parametreler zımba uç yarıçapı R, kalıp üst köşe yarıçapı Rd, kalıp ağzı genişliği W, malzeme kalınlığı T, zaman t, zımba girme derinliği h_p, geri esneme açısı $\Delta\alpha_b$ ve bükme açısı α_b olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Kalıp Düzeni ve İşlem Parametreleri [6].

Literatürde sac metal şekillendirme yöntemlerinden olan ve sıkça tercih edilen bükme ve geri esneme üzerine çok sayıda çalışmalar bulunmaktadır. Malzeme türü esas alındığında çelik, pirinç, bakır gibi malzemelerin yoğun çalışıldığı görülmektedir. Bükme kalıplarında geri esnemenin deneysel olarak tespiti hakkında çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalarda genel olarak dört değişik bükme metodu kullanılarak üç farklı kalınlıktaki pirinç, bakır, çelik ve paslanmaz çelik sac malzemeler bükülüp bilgisayar ortamında değerlendirilerek, geri esneme grafikleri çıkarılmış, farklı bükme metotlarının geri esnemeye etkileri ve elde edilen grafiklerin kullanılabilirliği tartışılmıştır [7,8].

Deneysel ağırlıklı yapılan bu çalışmalarda geri esneme üzerinde etkili olan en önemli parametrelerin bükme açısı, zımba uç kavisi, sac malzeme kalınlığı, bükme derinliği ve uygulanan bükme metodu olduğu görülmüştür. Diğer taraftan SEY ile yapılan analizlerde bu sonucu desteklemektedir [1,9].

Başka bir çalışmada 5754-O alaşımının 60º'lik V şekilli kalıpta geri esneme davranışı incelemiştir. Malzemelere % 1, 3, 5, 7, 9 ve 11'lik ön gerilmeler uygulanarak, akma noktaları değiştirilmiş ve bu ön gerilmelerin geri esneme üzerindeki etkilerini deneysel olarak bulmuşlardır. Ayrıca çalışmalarını ETA/Dynaform sac şekillendirme simülasyon programında analiz ederek deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır [10].

Bu çalışmanın amacı, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi, kalıba yaklaşma mesafesi, zımba uç kavisinin bükmeye etkisi ve sac hadde yönünün AA 1050-O malzemesinde geri esnemeye ne şekilde etki ettiğini araştırmaktır.

2. Materyal ve Yöntem

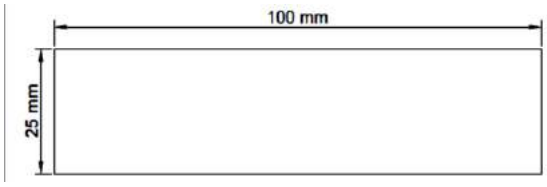
2.1. Materyal

Deney numuneleri endüstride sıklıkla kullanılan AA1050-O sac malzemelerden seçilmiştir. Malzemelerin kalınlıkları 1 mm ve 2 mm, ebatları ise 25x100 mm'dir. Saclar hadde yönü 0˚, 45˚ ve 90˚ olacak şekilde ve her dereceden 3'er adet olmak üzere 432 adet deney numunesi hazırlanmıştır.

Malzeme ebatlarının küçük seçilmesinin nedeni, dar alanda geri esnemenin daha sağlıklı olarak tespit edilebileceği düşüncesinden kaynaklanmıştır [7]. Deney numunesinde kullanılan sacların kimyasal özellikleri Çizelge 1'de sac boyutları ise Şekil 2'de verilmiştir.

Çizelge 1. Al 1050-O alaşımının kimyasal özelliği [11].

%							
Al	**Fe**	**Si**	**Cu**	**Zn**	**Ti**	**Her Biri**	**Toplam**
99,5	0,40	0,25	0.05	0,05	0,04	0,03	0,10



Şekil 2. Deney numunesi sac boyutları.

Deneyler için kalıplar CNC Freze tezgâhında istenen ölçülerde 60^0 ve 90^0'lik açılarda matris ve zımba çifti olarak ürettirilmiştir. Zımbaların uç kavis yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmiştir. Kalıp ve sac boyutlarının tespitinde literatürde var olan çalışmalar temel alınmıştır. Şekil 3'te 60^0 ve 90^0'lik kalıp setleri görülmektedir.

Şekil 3. Farklı tasarımlarda imal ettirilen kalıpların bükme açıları a) 60º, b) 90º olan kalıp ve zımba setleri [12,13].

"V" bükme kalıbındaki kuvvet hesabı için her araştırmacı farklı eşitlikler ortaya koymuştur. Bu eşitlikler her ne kadar farklı olsa da, çıkan sonuçlar arasında çok büyük uyumsuzluk bulunmamaktadır. Çalışmada bükme kuvveti hesabı Eşitlik 1'e göre yapılmıştır [14,15].

$$P_v \quad C \quad \frac{B \quad T^2 \quad {}_b}{W} \quad 10 \qquad (1)$$

C; W/T' ye bağlı bir katsayı olup Eşitlik 2'ile bulunur.

$$C \quad 1 \quad \frac{4\,T}{W} \qquad (2)$$

Bu eşitliklerde;
P_v *, "V"* bükme kuvvetini (N),
B, Sac malzeme genişliğini (mm),
T, Sac malzeme kalınlığını (mm),
$_b$*, Malzeme* çekme mukavemetini (N/mm^2),
W, Kalıp ağzı açıklığını (mm),
C, W/T oranına bağlı bir katsayıyı ihtiva etmektedir.

Buna göre, 1 mm ve 2 mm kalınlıklarındaki AA1050-O sac malzemeler için bükme açısı 60^0 için sırasıyla 930 N ve 3730 N, 90^0 için sırasıyla 660 N ve 2630 N "V" bükme kuvveti ve emniyetli kalıplama kuvveti hesaplanmıştır.

2.2. Yöntem

"V" bükme işlemlerinde değişik parametreler kullanılmakta ve bu parametreler geri esnemeyi etkilemektedirler. Geri esnemenin belirlenmesi için, elastikiyet modülü, akma gerilmesi, pekleşme özelliği gibi malzeme parametreleri ile uygulanan kuvvet, sacın kalınlığı, sacın hadde yönü, kalıbın açısı, zımba yarıçapı, kalıp açıklığı, zımbanın kalıp üzerinde bekleme süresi ve kalıbın yağlanması gibi işlem parametrelerinin, geri esnemeye karmaşık bir şekilde etki ettiği bilinmektedir.

2.3. Tasarım Yöntemleri

Çalışma kapsamında dikkate alınan yöntemler aşağıdaki gibidir.

Birinci yöntemde: Zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 s bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

İkinci yöntemde: Zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış ve sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmıştır.

Üçüncü yöntemde: Zımba kalıbın dibine kadar oturtulmuş ve sac malzemenin ezilmesi ile geri esnemeye etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda zımba kalıp üzerinde 20 s bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

Dördüncü yöntemde: Zımba kalıbın dibine kadar oturtulmuş ve sac malzemenin ezilmesinin geri esnemeye etkisi incelenmiştir. Zımbanın kalıp üzerinde sadece basma süresi kadar bekletilmesiyle yük geri alınmıştır.

Her bir deney sersisinde 108 adet numune parçası kullanılmıştır. Bu serilerden elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılarak karşılaştırma yapılmıştır. Birinci ve ikinci deney serilerinden elde edilen verilerin kullanılabilir olduğu, üçüncü ve dördüncü deney serilerinde sac malzeme kalınlığının dikkate alınmaması sonucu ezilmeler oluşmuş, ezilmeden dolayı tutarlı sonuçların elde edilemediği belirlenmiş ve çalışmaya dâhil edilmemiştir.

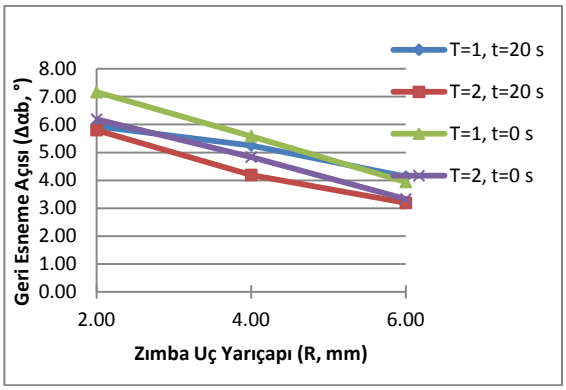
Deneyler laboratuar ortamında gerçekleştirilmiş ve bükülen sacların ölçümleri, açıölçer cihazı ile bükme işleminin hemen ardından titizlikle yapılmıştır.

3. Deney Sonuçları

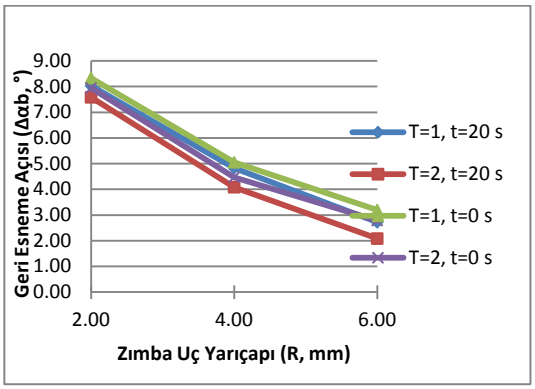
Yapılan deneylerden elde edilen kullanılabilir sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.

Şekil 4 ve Şekil 5'deki grafiklerde, her iki kalınlık (1 mm ve 2 mm) için de deneysel yöntem uygulanarak şekillendirilen sac malzemelerin 60^0 ve 90^0'deki V bükme deney numunelerin hepsi için zımba uç yarıçaplarına göre, geri esneme değerleri incelendiğinde; 1 mm ve 2 mm kalınlığındaki numunelerin her ikisinde de zımbanın numune parça üzerinde 20 s beklemesi ile bükülen numunelerin geri esneme açıları, zımbanın numune parça üzerinde hiç beklemeden (sadece basma süresi kadar beklemesi)

ile bükülen numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir.

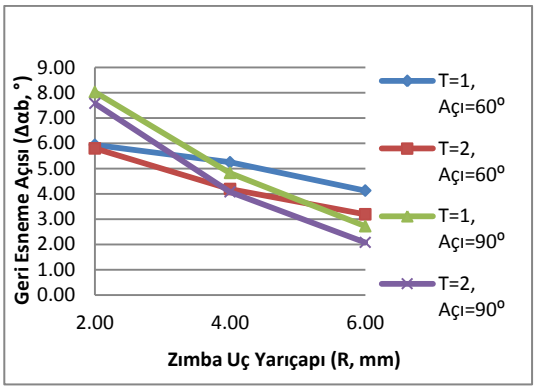


Şekil 4. AA 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.



Şekil 5. AA 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre elde edilen deneysel geri esneme açıları.

Şekil 6'da ki grafik incelendiğinde; 60° ve 90° V bükme deney numunelerin zımba uç yarıçapları esas alınarak geri esneme değerleri incelendiğinde; iki bükme açısında da numunelerde zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı tespit edilmiştir. Sac kalınlığı arttıkça da zımba uç yarıçapı 2 mm, 4 mm ve 6 mm olan numunelerin hepsinde de geri esnemenin azaldığı görülmektedir. 1 mm kalınlığındaki numuneler için bükme açısı 60° olan numunelerde; zımba uç yarıçapları 2 mm olan deneylerde, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu ancak zımba uç yarıçapları 4 mm ve 6 mm olan deneylerde bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığındaki numuneler incelendiğinde, zımba uç yarıçapları 2 mm olan deneylerde; bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından, zımba uç yarıçapları 4 mm olan deneylerde; 90° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından, zımba uç yarıçapları 6 mm olan deneylerde; bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açıları bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir.

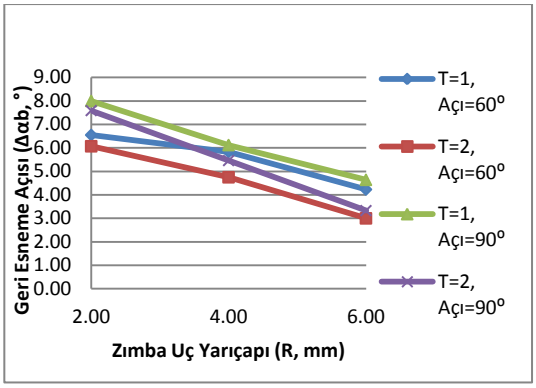


Şekil 6. AA 1050-O sac malzemelerin 60° ve 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parçalar üzerinde beklemesi ile elde edilen deneysel geri esneme açıları.

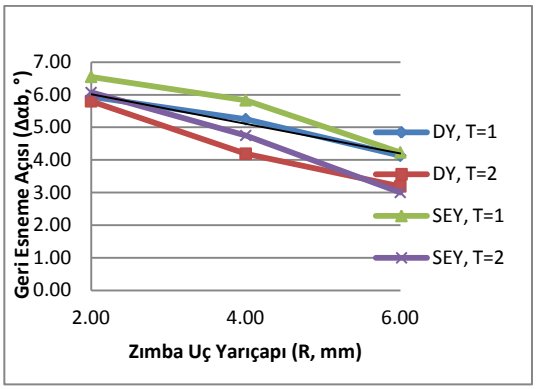
Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) çalışmalarında AA 1050-O sac malzemelerinin cinsi, kalınlığı, bükme açısı, bükme yarıçapı, matris ve zımba arasındaki kalıp boşluğu, zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresi gibi birçok fiziksel parametre ile malzemenin yoğunluğu, akma dayanımı, elastikiyet modülü, poisson oranı, tangent modülü gibi mekanik özellikler kullanılarak çözümleme yapılmıştır. Numunelerin şekillendirilmesinde kullanılan yöntemde zımba kalıba sac kalınlığı kadar yaklaştırılmış, bu sayede sac malzemenin ezilerek geri esnemeye etkisi önlenmiştir. Aynı zamanda şekillendirme sırasında zımba kalıp üzerinde 20 s bekletildikten sonra yük geri alınmıştır.

Şekil 7'deki grafikte her iki kalınlık için de şekillendirilen AA 1050-O sac malzemelerin 60° ve 90° bükülmesiyle zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelenmiştir. 1 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir. 2 mm kalınlığındaki numunelerde tüm zımba uç yarıçapları için bükme açısı 60° olan numunelerin geri esneme açıları, bükme açısı 90° olan numunelerin geri esneme açılarından daha az olduğu görülmektedir.

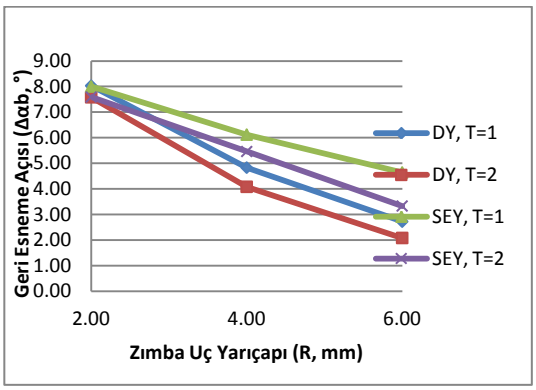
Şekil 8 ve Şekil 9 karşılaştırıldığında; SEY uygulanarak şekillendirilen ve DY uygulanarak zımbanın numune parça üzerinde 20 s beklemesi ile şekillendirilen numunelerin zımba uç yarıçaplarına göre geri esneme değerleri incelendiğinde; 60° ve 90° V bükme deneyinde 1 mm ve 2 mm kalınlığında ki numunelerin tüm zımba uç yarıçaplarında DY ile SEY'in geri esneme açılarının birbirlerine yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 7. AA 1050-O sac malzemelerin 60° ve 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parça üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY' in geri esneme açıları.



Şekil 8. AA 1050-O sac malzemelerin 60° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parça üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY' nin geri esneme açıları.



Şekil 9. AA 1050-O sac malzemelerin 90° V bükme deneyinde, zımbanın 20 s numune parça üzerinde beklemesi ile elde edilen SEY ile DY' nin geri esneme açıları.

4. Sonuçlar ve Tartışma

Çalışmada, ebatları 25x100 mm olan, 1 mm ve 2 mm kalınlığında, AA1050-O sac malzeme; 60° ve 90°'lik V şekilli kalıplar kullanılarak bükme işlemine tabi tutulmuştur. Zımba uç yarıçapları 2 mm, 4 mm ve 6 mm olarak belirlenmiştir. Sac malzemeler hadde yönü 0°, 45° ve 90° olacak şekilde hazırlanmıştır. Bükme işlemi sırasında zımbanın matrise yaklaşma mesafesi ve zımbanın numune parça üzerinde bekleme süresine göre şekillendirme işlemi yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiş ve değerlendirilmiştir;

- AA1050-O sac malzemeleri ile 60° ve 90°'de yapılan V bükme deney sonuçlarına göre geri esnemenin malzeme, zımba-kalıp, numune sacın hadde yönüne, zımbanın matrise yaklaşma mesafesine ve zımbanın şekillendirilen sacın üzerinde bekletilme süresine bağlı olarak değiştiği literatüre uygun olarak [5,7,8,12] gözlemlenmiştir.
- Yapılan V bükme deneylerinden elde edilen veriler incelendiğinde sac malzeme kalınlığının artmasının geri esnemeyi azalttığı tespit edilmiştir. Literatürde de sac malzeme kalınlığının geri esnemeye olan etkisi ile ilgili çalışmalarda [7,12] aynı yönde değişim gözlemlenmiştir.
- V bükmede zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttığı gözlemlenmiştir. Şekillendirme sırasında zımbanın kalıp üzerinde yüklü bekleme süresinin geri esnemeyi azalttığı ilgili çalışmalarda [7,12] görülmektedir. Yapılan çalışmalarda elde edilen veriler incelendiğinde sac malzemenin hadde yönünün geri esnemede etkili olduğu [4,12] gözlemlenmiştir.
- V bükmede zımba uç yarıçapının artmasıyla geri esnemenin azaldığı görülmektedir. Zımba uç yarıçapı arttırılarak geri esmenin daha da azaltılabileceği [4,12] görülmektedir.
- Sac parçalara uygulanan yöntemlerden birinci ve ikinci yöntemlerinin geri esnemeyi tespit etmede uygun olduğu gözlemlenmiştir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında numune sacın kalınlığı kadar boşluk bırakılmış ve zımbanın baskısı ile sacın ezilmesi önlenmiştir. Ancak sac parçalara uygulanan yöntemlerden üçüncü ve dördüncü yöntemlerde sac parçada ezilme meydana geldiğinden dolayı geri esnemeyi tespit etmede uygun olmadığı [7,8,12] gözlemlenmiştir. Bu yöntemlerde zımba ile kalıp arasında boşluk bırakılmamış ve zımba kalıbın sonuna kadar ilerletilmiştir. Arada kalan sac ezilmiş ve geri esnemenin hassasiyetini etkilemiştir.
- Deneysel Yöntem (DY) ile Sonlu Elemanlar Yöntemi (SEY)'in sonuçlarının kabul edilebilir yakınlıkta olduğu gözlemlenmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma, Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından KBÜ-BAP-11/12-YL-015 2012-3 YL nolu proje tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesine teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Li KP, Carden WP, Wagoner RH., "Simulation of Springback", International Journal of Mech Sci., 44: 103-122, 2002.

[2] Carden WD, Geng LM, Matlock DK, Wagoner R.H., “Measurement of Springback”, International Journal of Mech Sci., 44: 79-101, 2002.
[3] Schey, J. E., “Introduction to Manufacturing Processes”, McGraw-Hill, New York, 1987.
[4] Yenice, M. M. “Bükme ile Şekillendirilen Saclarda Geri Yaylanma Davranışının İncelenmesi”, Uludağ üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2006.
[5] Ötü, R., Demirci, H. İ., “60°’lik V Bükme Kalıbında AA5754-O Ve AA1050-O Sac Malzemelerin Farklı Bükme Metotları Kullanılarak Geri Esneme Miktarının Tespiti”, International Iron & Steel Symposium, Karabük, 02-04 April 2012.
[6] Tan, Z., Persson, B. ve Magnusson, C., “Empiric Model for Controlling Springback in V-Die Bending of Sheet Metals”, Journal of Materials Processing Technology, 34, (1-4): 449-455, 1992.
[7] Tekaslan Ö., Şeker U., “Pirinç Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti”, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük, Türkiye, 13-15 Mayıs 2009.
[8] Tekaslan, Ö.,Şeker, U. ve Gerger, N., “Bükme Kalıplarında 0,75 mm Kalınlığındaki Çelik Sac Malzemenin Geri Esneme Miktarlarının Belirlenmesi”, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13 (1): 15-22, 2007.
[9] Arslan, B, “Geri Esnemenin Sac Parçaların Biçim Tamlığı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi ve Sonlu Elemanlar Yöntemi Uygulamaları ile Değerlendirilmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, 2007.
[10] Toros S., Ece E. R., Öztürk F.*, Alkan M., “5754-O Al-Mg Alaşımında Ön Gerilmenin Geri Esnemeye Etkisinin Deneysel ve Sonlu Elemanlar Yöntemiyle incelenmesi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6: 1-9, 2009.
[11] Aşkar, E., “Hidrostatik Basınçla Al 5754 ve Al 1050 Saclarının Küçük Çapta Şekillendirilmesi”, Karabük Üniversitesi, 2010.
[12] Ötü, R., “V Bükme Kalıplarında Alüminyum Alaşımlı Sacların Şekillendirilmesi ve Geri Esneme Miktarlarının Tespiti”, Karabük Üniversitesi, Y. Lisans Tezi, 2012.
[13] Ötü, R., Demirci, H. İ., “Farklı Bükme Yöntemleri Uygulanarak V Bükme Kalıplarında AA 5754-O Sac Malzeme ile Elde Edilen Numunelerin Geri Esneme Miktarının Tespiti”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 10, No: 3, 2013 (27-42).
[14] Cerit, A., M., Makine Mühendisliği El Kitabı, Maya Matbaacılık Yayıncılık Ltd. Şti., Ankara, 8: 458-489, 1976.
[15] Güneş, A., T., Pres İşleri Tekniği, Erk Yayıncılık, Ankara, 1: 184-241, 1989.

THERMO-MECHANICAL RELIABILITY OF LEAD-FREE SOLDER JOINTS IN FLIP CHIP PACKAGE FOR HIGH-TEMPERATURE APPLICATIONS

Emeka H. Amalu [a], N. N. Ekere [b] Musa T. Zarmai [c]
[a] University of Wolverhampton, Wolverhampton, West Midlands, United Kingdom,
E-mail: E.Amalu@wlv.ac.uk; Ndyekere@wlv.ac.uk; M.T.Zarmai@wlv.ac.uk

Abstract

Flip chip (FC) is a package used to assembly electronic device for high-temperature applications. The operating conditions at high-temperatures support the formation and growth of intermetallic compound (IMC) in a flip chip joints which contain tin as an alloying element of the package solder ball and copper in the bond pad of the printed circuit board (PCB). High-temperature applications coupled with the presence of IMC accelerate the degradation of the solder joints in the package which consequently results in assembly failure. The damage mechanism of these solder joints is studied whilst the magnitude of the damage was quantitatively evaluated to determine the impact of the thickness of intermetallic compound (IMC) layer on the reliability of the joints. Finite element modelling utilising Anand's plasticity model was employed to simulate the visco-plastic response of the solder joints of five virtual test vehicle assemblies of the FC package to an induced temperature cycle load. The assemblies have different IMC layer thickness and these geometries were subjected to the same accelerated high-temperature cycles utilising, in parts, the IEC standard 60749-25. The results demonstrate that the thickness of IMC layer impact the reliability of the FC solder joints. The results also show that the magnitude of the average accumulated visco-plastic energy density per cycle (w_{acc}) depends on the volume percentage of solder and IMC in the joints. The dependency is proposed as the reason why the existing life prediction models based on w_{acc} are not sufficient in predicting the damage in solder bump joints.

Keywords: High-temperature electronics, Intermetallic compound, Leaf-free solder, Flip chip.

1. Introduction

Flip chip is used to assemble electronic devices which operate in high-temperature environment. In many of such operations, these devices are used as sensors or part of a control system. The flip chip is mounted on a substrate which is usually a printed circuit board, PCB, using their ball grid array leads which form solder joints after reflow soldering process. The solder joints undergo accelerated thermo-mechanical degradation due to the formation and growth of intermetallic compounds and the operations at high-temperature environment. Long operations of devices at high-temperature ambient continues to grow IMC at the device solder joints because the solder and metalized copper bond pad continually engage in solid state reaction until copper content in bond pad is depleted. The growth may not be controlled by good heat dissipation mechanism as significant amount of heat will flow through the solder joints and activates diffusion of elements which culminates in the growth of the IMC layer. Many researchers have reported on this situation.

Peng et al. [1] reported that the thickness of Cu_3Sn and Cu_6Sn_5 IMCs in their SnAgCu solder joints increased with aging time and Laurila et al. [2] reported an enhanced growth of IMC in power cycling test of lead-free solder interconnects. Many researchers have conducted many studies in this area and have reported different findings. One group has reported that the thickness of IMC has no effect on solder joint reliability while the other reported that strength/interfacial stress increases as IMC and operating temperature increase and the other group stated that the strengths of solder joints decreases with increase in aging IMC thickness.

In Fig. 1 a layer of IMC thickness sandwiched between solder bulk and the substrate PCB is shown while in Fig. 2 a FC assembled on a PCB using the solder joints are presented. It has been reported that the presence of IMC in solder joints signifies good bonding between the solder and the substrate, however owing to IMC brittle nature, it is also reported that critical thicknesses of it poses key reliability concerns for the device long term operation in the field. In our earlier study, we have demonstrated and shown schematically the effect of coefficient of thermal expansion mismatch on a typical flip chip assembly.

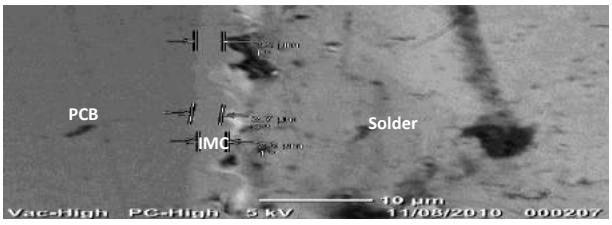


Fig. 1. Solder bump containing IMC between the PCB and the solder bulk.

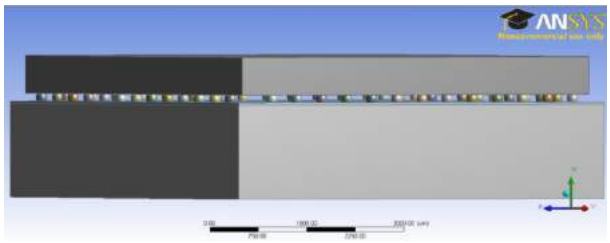


Fig. 2. Flip chip assembly.

In this study, thermal cycling reliability of five virtual geometric models which have different thickness of IMC layer is carried out. The cycling is from -38 °C to 157 °C. The aim of this research is to study the degradation on lead-free solder joints in a FC assembly subjected to high-

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

temperature thermal cycling. The study centres on quantitative damage evaluation of the joints while taking into consideration the IMC layer thickness. The accumulated damage in the joints of the different assemblies were determined and utilized to predict their service lives.

2. Finite element modelling

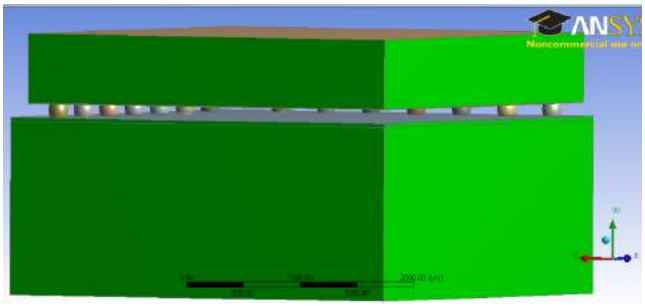
The finite element modelling (FEM) was employed to study the reliability of FC solder joints which are subjected to accelerated temperature cycles (ATCs). This section presents three sub-headings: the model and methodology; the materials and their properties; and the applied loads and boundary conditions.

2.1 Model and methodology

Five virtual three-dimensional geometric models of the FC assemblies are created using a combination of analytical method and construction geometry [3]. The details of the architecture of the FC are presented in [4]. Fig. 3 depicts a quarter of one of these models while Fig. 4 is a cross section of an outermost solder bump joint of the model and Fig. 5 shows a magnified view of the meshed solder bump joints. The advantage of the symmetry of the structure was harnessed and a quarter of the assembly consisting of a total of 10,359,387 nodes and 8386466 elements were simulated. A joint consists of IMC at the die side, solder region and IMC at the PCB side and is simply called a bump. The solder region is also known as solder and denoted as "*s*" with its stress denoted as σ_S. The solder bump is denoted as "*B*" and its stress is designated as σ_B. The thickness of the IMC layer in the joints varies with the different models and therefore, the five models have IMC thickness of 4 µm, 6 µm, 8 µm, 10 µm and 12 µm.

The models based on the whole joint is termed *model i bump* while the model based on the solder region is termed *model i solder*. The "*i*" takes value from 1, 2, 3, 4 and 5. Model 3, which has 8 µm thickness of IMC, shows responses marked with inconsistency and was therefore excluded in the analysis.

The static structural responses to the cyclic induced thermal load of these models were simulated using Ansys V.13 FEM software.



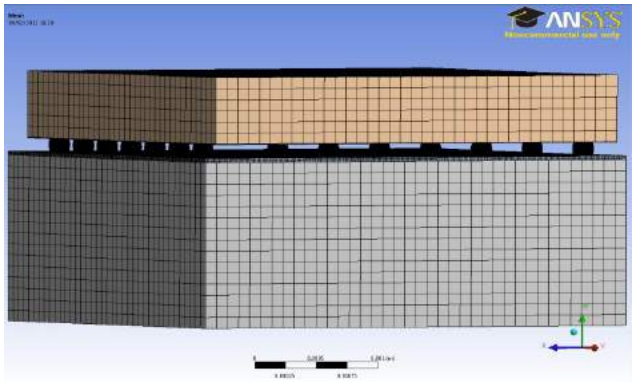


Fig. 3. A quarter of the flip chip assembly showing: The assembly with two planes of symmetry coloured green and (b) the assembly with adequate mesh.

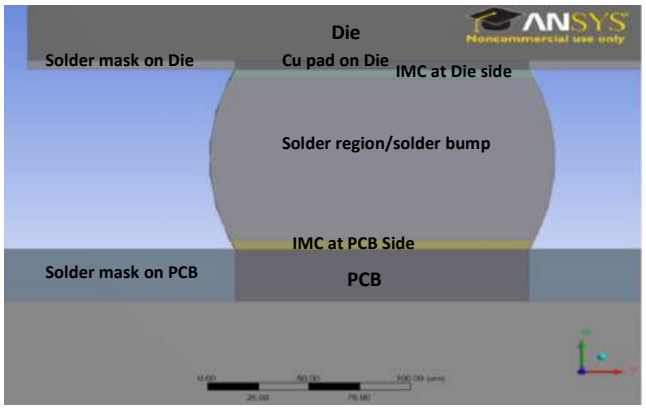


Fig. 4. A cross section of an outermost solder bump joint of the flip chip assembly.

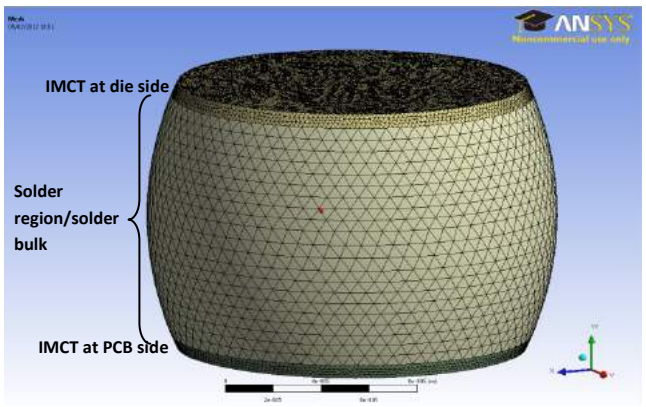


Fig. 5. A meshes solder bump showing 6 µm thickness of IMC at both die and PCB sides of the FC assembly.

2.2 Materials and their properties

The key materials used in the assembly of the FC and its mounting on PCB are silicon die, copper bond pad, solder mask, SnAgCu alloy solder, metallization layer and PCB. All the materials are modelled as linear elastic and isotropic substances except solder and PCB which were simulated as temperature dependent visco-plastic and orthotropic materials, respectively. Thermo-mechanical response of the solder to the applied ATC is modelled with

Anand's visco-plasticity. The values of the parameters in the Anand's model are presented in table 3. Extensive discussion on the justification of the use of this model and the properties of other materials have been presented in a recent study by Amalu et al. [4].
The flow equation of plastic strain rate is given as:

$$d^p = Ae^{(-Q/RT)}\left[\sinh\left(\frac{\sigma}{s}\right)\right]^{1/m} \quad (1)$$

Other parameters associated with Eq. (1) and which are not explicitly described in Table 1 such as d^p , *R, T* and σ are effective inelastic deformation rate, universal gas constant, absolute temperature and effective Cauchy stress respectively. The '*s*' is a single scalar internal variable which is the deformation resistance. It takes into account the materials thermo-mechanical history such as strain hardening and softening. The evolution of '*s*' can be described thus:

$$\dot{s} = \left\{sign\left(1-\frac{s}{s^*}\right)h_0\left|1-\frac{s}{s^*}\right|^a\right\}d^p \quad (2)$$

s^* (the saturation value of *s* associated with a given temperature and strain rate pair) is expressed in Eq. (3) and is a coefficient for saturation.

$$s^* = \left[\frac{d^p}{A}e^{(Q/RT)}\right]^n \quad (3)$$

Table 1 Anand's material constants for SnAgCu solder [38]

Constant		Value	Definition
C1	S_o (MPa)	39.09	Initial Value of Deformation Resistance
C2	*Q/R* (1/Kelvin)	8930	Activation Energy/ Boltzmann's Constant
C3	*A* (1/Sec)	22300	Pre-Exponential Factor
C4	*ξ* (Dimensionless)	6.0	Multiplier of Stress
C5	*m*(Dimensionless)	0.182	Strain Rate Sensitivity of Stress
C6	h_o (MPa)	3321.2	Hardening/Softening Constant
C7	(MPa)	173.81	Coefficient for Deformation Resistance saturation value
C8	*n*(Dimensionless)	0.018	Strain rate sensitivity of saturation value
C9	*a* (Dimensionless)	1.82	Strain Rate Sensitivity of Hardening/Softening

2.3 Loads and boundary conditions

The FC assemblies were subjected to six complete ATCs between -38 °C and 157 °C in 25 load steps. In our previous studies, Amalu et al. [4], the sufficiency of at least six complete ATCs in thermal cycling reliability of lead-free solder joints was reported. The temperature loading started from 22 °C, ramped up at the rate of 15 °C/min to 157 °C, where it dwelled for 10 minutes. It was then ramped down to lower dwell region at the same rate, where it also rested for 10 minutes. The assembled FC on PCB was simply supported such that the conditions of the structure at the supports are:
at symmetric surfaces (x,v),

$$u_{(x)} = u_{(v)} = 0 \quad (4)$$

at the PCB base,

$$w = 0 \; and \; u_{(w)} = 0 \quad (5)$$

The $u_{(x)}$, $u_{(w)}$ and $u_{(v)}$ represents the displacement in the *x*, *w* and *v* directions, respectively.

3. Results and discussion

The results of this study and their discussion are presented in four sub-sections. These are: evaluation of hysteresis loop, study on strain energy density, evaluation of accumulation of plastic work density and study on the prediction of FC solder bump service life.

3.1 Evaluation of hysteresis loop of FC bump joints

The thermo-mechanical and visco-plastic response of a solder bump joint to the induced thermal load is shown in Fig. 6. It is a plot of the relationship between the stress and strain accumulated in the joint. It can be seen that as the plot continues, the trend evolves into a loop which becomes progressive with more ATCs. This loop is known as hysteresis loop. It developed because the nature of the applied temperature load is cyclic which is made up of extension and compression load strokes. Fig. 7 shows the hysteresis loop of all the models and also the relationship among them. The distribution of accumulated equivalent stress and plastic strain damage on a critical *model i bump* is shown in Fig. 8a. The figure shows that the interface between the IMC layer and solder bulk has the maximum stress concentration while the Fig. 8b confirms this finding by also showing a maximum at its top plan. Fig. 9 is a plot of the accumulated damage in the joints of the models. The plot shows that model 4 has the highest damage initially and model 1 become highest after some time. The results further demonstrate that there is interaction of the parameters considered as the cycling continues.

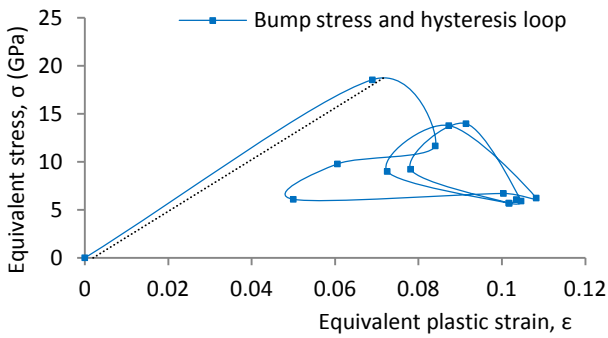


Fig. 6. Plot of hysteresis loop of bump model.

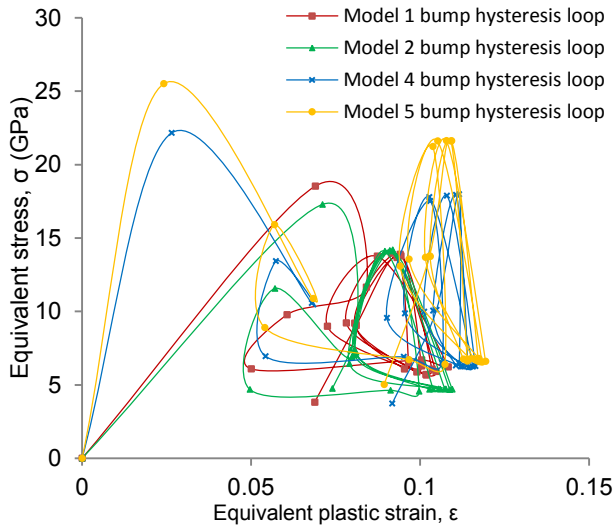


Fig. 7. Plot of hysteresis loops of models 1, 2, 4 and 5.

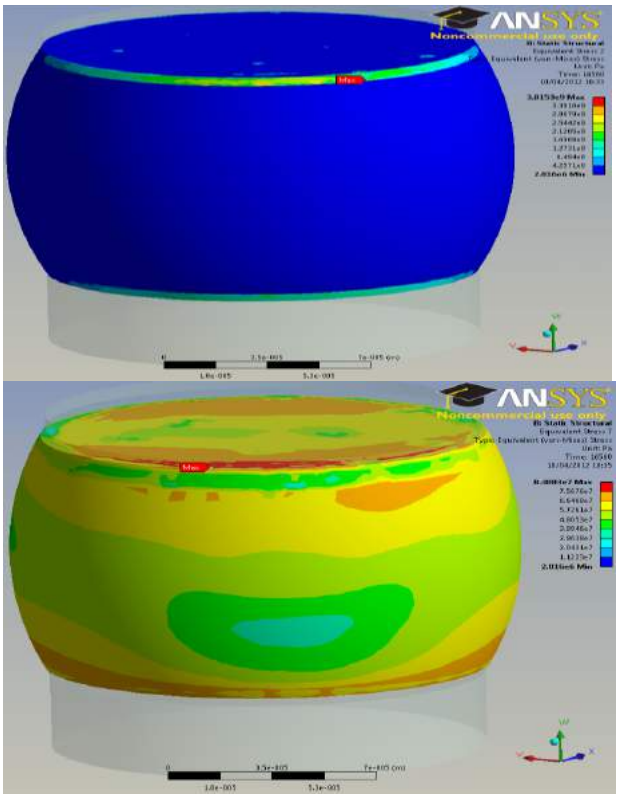


Fig. 8. Equivalent stress and plastic strain damage distribution on the critical joint of the model showing: (a) Stress on critical model i bump; (b) Stress on critical model i solder.

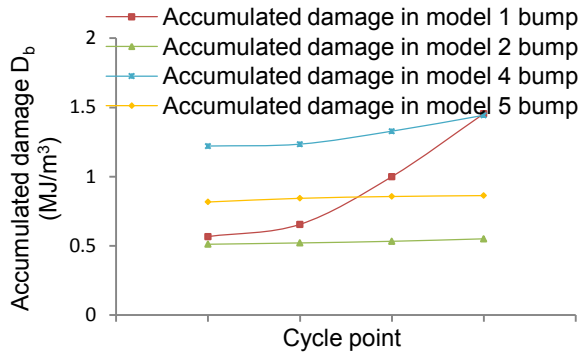


Fig. 9. Plot of accumulated damage states of *model i bump* as function of hysteresis loop limits.

3.2 Evaluation of strain energy of FC bump joints

The temperature cycle load the assemblies were subjected to induces plastic damage on the solder bump joints. The damage is caused by deformation of the solder in the joints and it is stored in the joint as strain energy. Strain energy per unit volume of solder material is defined as strain energy density. Fig. 10 shows the plots of bump energy density at upper dwell regions against the load step. The plot shows that model 2 strain energy is highest followed by model 1 after about 15 load steps.

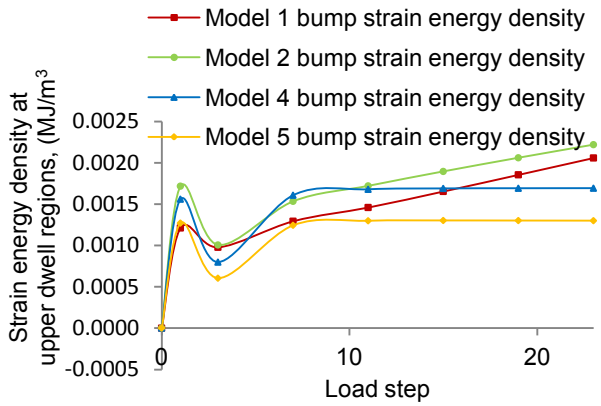


Fig. 10. Plot of strain energy of the models showing bump strain energy density at upper dwell regions.

3.3 Evaluation of accumulation of plastic work density in FC bump joints

As solder joints are subjected to temperature cycle load, plastic work (w_p) accumulates over time in the solder joints. The accumulation of the change in plastic work from one cycle to the next causes damage in the solder bump joints. The value of average damage (Δw_p) may be expressed as:

$$\Delta W_{p,avg} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \Delta W_i . \Delta V_i}{\sum_{i=1}^{n} \Delta V_i} \quad (6)$$

Where, ΔW_i is plastic work accumulated in a cycle in element *i* and ΔV_i is the volume of the element. The changes in plastic work density per cycle in the joints of the models as a function of the number of ATC are plotted

in Fig. 11. The plots show that *model 1* has the highest damage and *model 5* has the least. Comparison of this finding with that recorded in section 3.1and 3.2 suggests the existence of parameter interaction which can be investigated further towards the improvement of solder joint integrity and reliability. Fig. 12, it can be seen in the plot that the damage in the bumps becomes critical with decrease in solder volume and increase in percentage by volume of IMC in the bump joints.

The value of the damage was used to predict the life of the bump joint and the result is plotted in Fig. 12. It can be seen in the plot that *model 2* has the highest value of life of the bump joint. The magnitude of the life of the bump decreases as the IMC thickness increases and it is projected that it will also decreases as the thickness of the IMC gets smaller than the value in *model 2 bump*. This finding indicates that the growth of IMC in a solder joint which brings about the diminishing of solder volume adversely impact solder joint reliability especially at high temperature applications and excursions of solder joints where thickness of IMC is significant and can grow up to 12 µm in thickness.

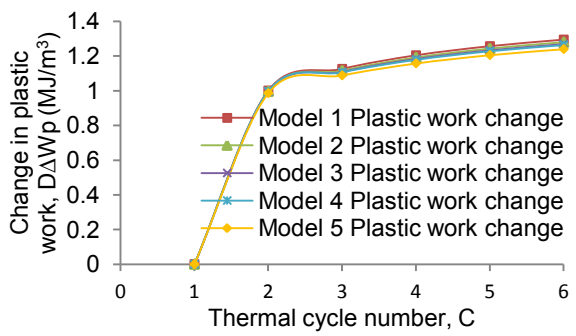


Fig. 11. Plot of plastic work density as a function of thermal cycle no.

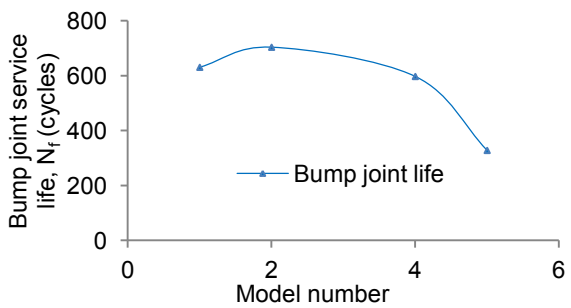


Fig. 12. Plot of life of bump joint as a function of model number.

4. Conclusions

It is found that the thickness of IMC has an effect on the reliability and life of FC solder bump joints which are subjected to high-temperature operations. The finding demonstrates that very thin and very thick IMC thicknesses increase the damage on the solder bump joints.

Further findings show that the magnitude of the average accumulated visco-plastic/creep energy density per cycle (w_{acc} or w_p) depends on the volume percentage of solder and IMC in the joints. This value generally decreases with decrease in solder volume and increase in IMC thickness.

Acknowledgement

The authors acknowledge the funds received from Petroleum Technology Development Fund (PTDF) Nigeria and the support received from School of Engineering, University of Wolverhampton, UK.

References

[1] W. Peng, E. Monlevade, M.E. Marques, Microelectronics Reliability 47 12 (2007) 2161-2168.
[2] T. Laurila, T. Mattila, V. Vuorinen, J. Karppinen, J. Li, M. Sippola, J.K. Kivilahti, Microelectronics Reliability 47 7 (2007) 1135-1144.
[3] E.H. Amalu, N.N. Ekere, Journal of Materials Processing Technology 212 (2012) 471-483.
[4] E.H. Amalu, N.N. Ekere, Microelectronics Reliability 52 (2012) 2731-2743.
[5] M.O. Alam, H. Lu, C. Bailey, Y. C. Chan, Computational Materials Science 45 2 (2009) 576-583.

DÜZ DİŞLİ ÇARKLAR İÇİN LEWIS FORM FAKTÖRÜNÜN BELİRLENMESİ İÇİN YAPAY SİNİR AĞLARI TABANLI BİR YAKLAŞIM

A NEURAL NETWORKS BASED APPROACH: DETERMINATION OF LEWIS FACTOR FOR SPUR GEARS

Kürşad Dündar [a] Ihsan Toktaş [b] ve Murat Tolga Özkan [c]
[a] Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü İncek, Ankara, Turkey
E-posta: kursad.dundar@atilim.edu.tr
[b] Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Turkey
E-posta: ihsantoktas@hotmail.com
[c] Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü,Teknikokullar, Ankara, Turkey,
E-posta: mtozkan06@yahoo.com

Özet

Lewis form faktörü değerlerinin tespiti, diş sayısı ve kavrama açısı, involut değerlerine göre belirlenmektedir. Bu çalışmada, grafiksel ve teorik hesap analizleri yapılarak, Lewis form faktörü bulunması için Yapay Sinir Ağları (YSA) modelinde kullanılmak üzere alternatif örneklerden eğitim ve test küme verileri oluşturulmuştur. Bunlar, çok katmanlı tek yönlü hiyerarşik bağlantılı hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasının Scaled Conjugate Gradient (SCG) ve Levenberg-Marquardt (LM) versiyonlarının her biri için 'logistic sigmoid' transfer fonksiyonları kullanılarak değişken sayıda gizli katman ve işlem eleman sayılarında eğitilmiştir. Daha sonra test küme verileri ile kontrol edilmiştir. Teorik hesap sonuçları ve YSA modeli sonuçları istatistiksel hata analizleri ile karşılaştırılmıştır. LM algoritması tek gizli katmanlı 12 işlem elemanından oluşan YSA modelinde mutlak değişim yüzdesi R^2 (Absolute Fraction of Variance) değerleri 1'e çok yakın, ortalama % hatalar ve istatiksel hata (Root Mean Square error - *RMS*), değerleri çok düşük bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Yapay sinir ağları, Dişlil çarklar, Eğilme Gerilmesi, Lewis Form Faktörü, Lewis Faktörü

Abstract

Lewis Form Factor are determined according to number of teeth, pressure angles and involute (full or stub) values. In this study, graph and the mathematical calculation analysis for the data corresponding to Lewis Form Factor have been made to obtain alternative test and training data sets to be used at the Artificial Neural Network (ANN). They are used to train multilayered, hierarchically connected, directed networks with varying number of hidden layers using back propagation, Scaled Conjugate Gradient (SCG) and Levenberg-Marquardt (LM) algorithm with the logistic sigmoid transfer function. Then the network is tested with the test data. The mathematical calculation results and ANN predictions are compared by using statistical error analysing methods. The ANN with 21 single hidden layers using LM model have produced R^2 values approximately to 1 and the mean % errors and RMS values are found to be very low.

Keywords: Artificial Neural Networks, Gears, Bending Stress, Lewis Form Factor

1.Giriş

Makina tasarımında karşılaşılan en büyük problemlerden birisi güç ve hareketi istenilen oranda iletebilmektir. Gerçek şu ki asıl amaç, sadece iletimdeki oran değil bunu mümkün olduğu kadar küçük hacimde ve düşük ağırlık ile başarabilmektir. Makina konstrüksiyonunda, mekanik güç ve hareket iletimini sağlamak amacıyla genellikle dişli çark mekanizmaları, sürtünmeli çark mekanizmaları, kayış kasnak mekanizmaları ve zincir mekanizmaları kullanılmaktadır [1]. Tasarım, bir problem belirleme ve çözme olarak ele alındığında, bu olgular öğrenme ve düşünme eylemleriyle gerçekleştirilir. Tasarım esnasında öğrenilen bilgiler insan zihnindeki bazı bilgilerin değişmesi ve böylece yeni bilgi birikiminin oluşmasını sağlar. Yani, tasarım insana bağlı bir faaliyet olduğu için, tasarımcı kendi düşünce tarzını tasarım problemine yansıtır. Bu nedenle, tasarım için herhangi bir kararın bağımsız desteklenmesi veya tersi, insan düşünme tarzına paraleldir. Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin varsayılan çalışma prensiplerine göre tasarlanmış olup, öğrenme ve paralel çalışma özellikleri sayesinde hacmi geniş ve karmaşık sistemlerde kısa sürede sonuçlar üretebilmektedir. Ayrıca doğrusal olmayan tasarım problemlerini de çok iyi modelleyebilmektedir [2]. YSA günümüzde çoğu alanda büyük bir hızla kullanılmaya devam etmekte olup, sınıflandırma, tahmin, kontrol sistemleri, optimizasyon ve karar verme gibi bazı uygulamaları bulunmaktadır. Son yıllarda YSA'nın modelleme ve tahmin amaçlı kullanımı artmıştır [3-10].

Bu çalışmada, düz dişli çark tasarımında eğilme gerilmesinin hesaplanmasında Lewis form faktörü için, YSA tabanlı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Sonuçta eğitilen YSA modeli çok başarılı ve test verileri hata değerleri çok düşük bulunmuştur. Düz dişli çark tasarımında eğilme gerilmesinin hesaplanmasında

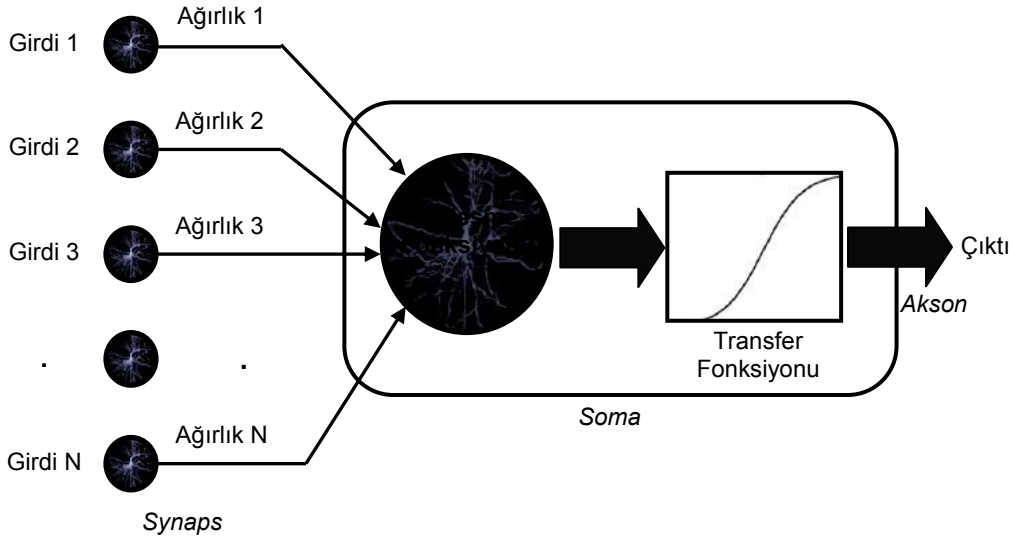
© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Lewis form faktörü için kullanılan grafiksel ve teorik hesap analizleri simulasyonları yerine YSA'ların kullanılabileceği gösterilmiştir.

2. Yapay Sinir Ağları

Bir sinir hücresinin analizi, YSA'nın oluşturulmasında temel teşkil ettiğinden önem arz eder. YSA, birbirine bağlanmış ve hiyerarşik yapıda olan basit işlem elemanlarının (yapay sinir hücreleri) yoğun bir paralel dizisi ve verilen girdilere karşı çıktı üretebilen bir *Kara Kutu* olarak ta tanımlanabilir.Her işlem elemanının bilgi toplama ve bunu işleyerek diğer elemanlara gönderme özelliği vardır. İşlem elemanları; girdiler, ağırlıklar, birleşme (toplama) fonksiyonu, transfer (aktivasyon) fonksiyonu ve çıktı olmak üzere 5 elemandan oluşur (Şekil 1) [11-13].

- *Girdiler*, Diğer işlem elemanlarından bağlantılar vasıtasıyla işlem elemanına bilgi gelmesini sağlar.
- *Ağırlıklar*, girdilerin işlem elemanı üzerindeki etkisini kontrol eder. Yani bir yapay sinir ağı bilgisini bağlantı hatları üzerinde depolar. Her bağlantının bir ağırlığı vardır. Bu ağırlıklar, öğrenme esnasında sürekli değişerek girdi ve çıktı arasındaki ilişkiyi optimize etmeye çalışır.
- *Birleşme fonksiyonu*, bir işlem elemanına gelen net girdiyi hesaplar.
- *Transfer (aktivasyon) fonksiyonu*, birleşme fonksiyonu tarafından belirlenen net girdiyi alarak işlem elemanının çıktısını belirler. Birleşme fonksiyonlarında olduğu gibi, bir çok transfer fonksiyonu vardır. Birleşme ve transfer fonksiyonları problemin yapısına göre tercih edilir.
- *Çıktılar*, transfer fonksiyonunun sonuçları alarak bağlantılı olduğu işlem elemanına veya ağ dışı kaynaklara gönderir.



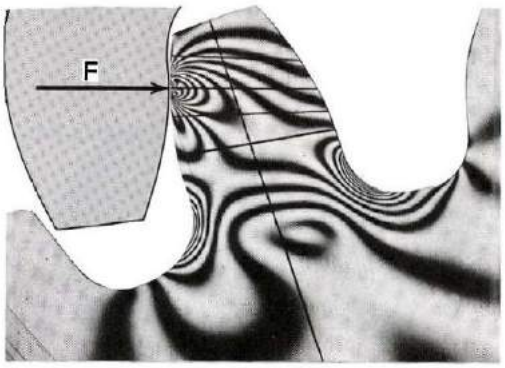
Şekil 1. İşlem elemanı yapısı

YSA'nın fonksiyonlarını gerçekleştirmede, sahip oldukları fiziki yapının da rolü vardır. Yönlü bir çizge (graf) biçiminde olan bir yapay sinir ağı modeli, sahip olduğu birleşme fonksiyonu, transfer fonksiyonu, mimarisi, kullanılan öğrenme kuralı ile tanımlanır. İşlem elamanları bağlantılarla birbirlerine bağlanıp katmanlar elde edilerek bir ağ oluşturur. Bir ağın mimarisi, ağın bağlantı tarzı ve işlem elemanlarının katman yapısına bağlı olarak tanımlanır. Bir yapay sinir ağı genellikle girdi katmanı, gizli katman(lar) ve çıktı katmanından oluşur [2, 11-13].

3. Düz Dişli Çarklar İçin Lewis Form Faktörünün Belirlenmesi İçin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Bir Yaklaşım

3.1. Lewis Form Faktörü

Dişli diş sayıları için temel eğilme gerilmesi Lewis form faktörü ile elde edilir. Bu factor Wilfred Lewis tarafından 1892 de bilime kazandırılmıştır. Bu denklem güncelliğini korumakla birlikle günümüz tasarım problemlerinde de kullanılmaktadır. Bu denklem; dişliçarkalara gelen teğetsel kuvvet (Ft) ve dişlerdeki eğilme gerilmelerini dikkate almaktadır. Eğilme gerilmesi özellikle diş diplerinde oluşmaktadır. Bu gerilmeler fotoelastik yöntemle Dolan and Broghammer tarafından izah edilmiştir (Şekil 2) ve özellikle dişlerin birbiri ile temas ettiği noktada ve diş diplerinde meydana gelmektedir. Klasik metodlarla dişlerdeki eğilme Lewis denklemi ile hesaplanmaktadır.



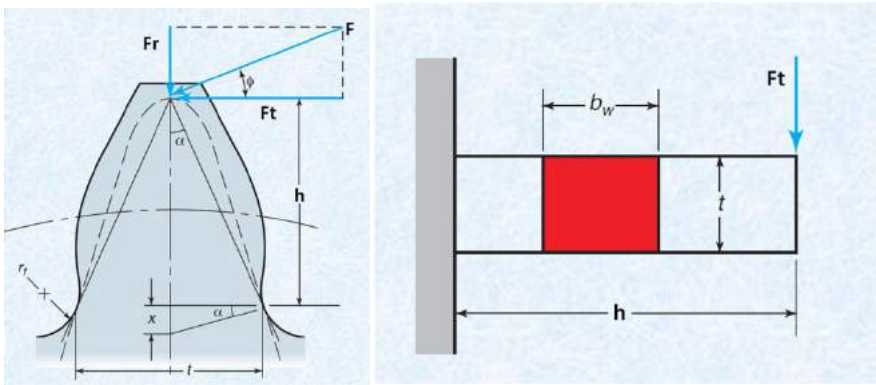
Şekil 2. Fotoelastik model

Lewis, diş ucuna uygulanan statik kuvveti Ft (Teğetsel Kuvvet) ile bir ankastre kiriş gibi modellenmiştir (Şekil 3). Lewis tarafından oluşturulan modelin sınır şartları:

- Statik durumda, tüm teğetsel kuvvet tek bir dişe uygulanmıştır.
- Radyal bileşen (Fr) ihmal edilmiştir.
- Yük dişli çark genişliği boyunca homojen dağıtılmıştır
- Kayma sürtünmesi nedeniyle sürtünme kuvvetleri ihmal edilmiştir.
- Diş yüzeyindeki gerilme dağılımı ihmal edilmiştir.

'a' temas noktasında eğilme gerilmesi (Şekil 3);

$$\sigma = \frac{Mc}{I} = \frac{6F_t h}{bt^2} \quad (1)$$

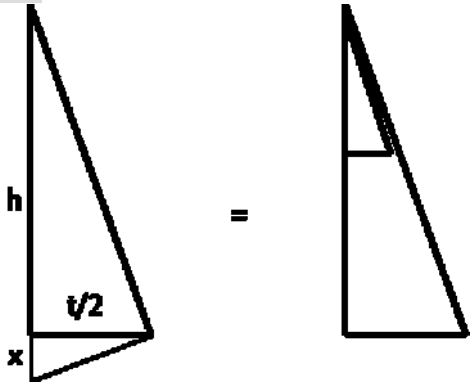


(a) (b)

Şekil 3. Yük ve diş yüksekliğine bağlı olarak dişlerde meydana gelen eğilme gerilmesi, a) diş, b) ankastre kiriş

Benzer üçgenlerden (Şekil 4.);

$$\frac{t/2}{x} = \frac{h}{t/2} \quad \text{veya} \quad \frac{t^2}{h} = 4x \quad (2)$$



Şekil 4. Dişteki eğilme gerilmesi (benzer üçgenler metodu)

Eşitlik 2, Eşitlik 1 de yerine yazılırsa;

$$\sigma = \frac{6F_t}{4bx} \quad (3)$$

$$y = \frac{2x}{3p} \quad (4)$$

Burada "y" Lewis form faktörü olarak tanımlanır. Eşitlik 3' de Eşitlik 4 yerine yazılırsa; Diş eğilme gerilmesi Lewis denklemi elde edilir (Eşitlik 5).

$$\sigma = \frac{F_t}{b \;\; p \;\; y} \quad (5)$$

Burada Lewis denklemi dairesel adıma göredir. SI birim sistemine göre üretilen dişlilerde standart modul kullanılmaktadır. Standart modul "m" ve çevresel adım "p" bağıntısı;

$$p = \pi \;\; m$$

Çoğu mühendis gerilmelerin belirlenmesinde çap adımı "P" 'ye (circular pitch) göre hesaplama yapmaktadır. Bu yaklaşıma göre ;

$$p = \frac{\pi}{P} \quad (6)$$

$$\sigma = \frac{F_t}{b \;\; \pi \;\; y \;\; m} \quad (7)$$

Lewis form faktörü;

$$y = \frac{Y}{\pi} \quad (8)$$

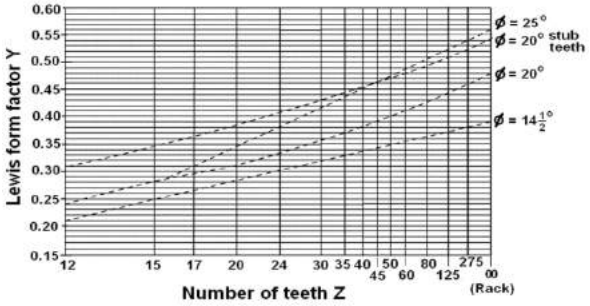
Dişlerdeki eğilme gerilmesi (Lewis Eşitliği);

$$\sigma = \frac{F_t \times P}{b \times Y} \quad (9)$$

Dişlerdeki eğilme gerilmesi (Lewis Eşitliği- SI birim sitemine gore);

$$\sigma = \frac{F_t}{b \times m \times Y} \quad (10)$$

Denklem 9, module bağlı dişlerdeki eğilme gerilmesi standart Lewis denklemidir. Hem Y hemde y dişli şeklinin fonksiyonuna bağlıdır fakat büyüklüğüne bağlı değildir. Bu değer dişli diş sayısına bağlı olarak değişmektedir. Tablo 1 de farklı açılarda ve farklı zorlanma durumlarına göre Lewis form faktörü verilmiştir.



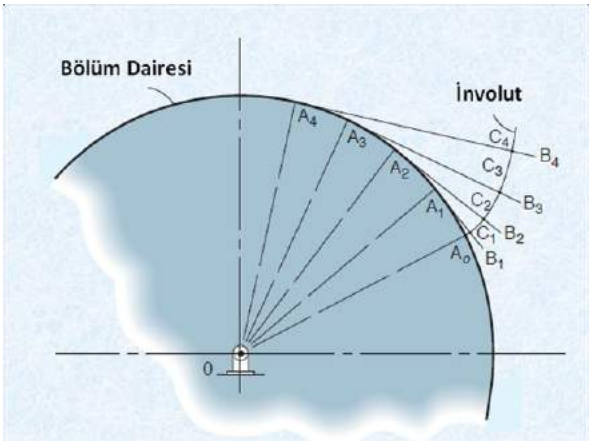
Şekil 5. Lewis form Faktörü çizelgesi

Tablo 1. Farklı açılarda ve farklı zorlanma durumlarına göre Lewis form faktörü

Diş sayısı (z)	Diş ucu civarındaki yükleme durumu								Diş ucuna yakın bir yerdeki yükleme durumu			
	14.5 °		20° FD		20° (Stub x=1)		25°		14 °		20 °	
	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y
10	0,176	0,056	0,201	0,064	0,261	0,083	0,238	0,076				
11	0,192	0,061	0,226	0,072	0,289	0,092	0,259	0,082				
12	0,21	0,067	0,245	0,078	0,311	0,099	0,277	0,088	0,355	0,113	0,415	0,132
13	0,223	0,071	0,264	0,084	0,324	0,103	0,293	0,093	0,377	0,12	0,443	0,141
14	0,236	0,075	0,276	0,088	0,339	0,108	0,307	0,098	0,399	0,127	0,468	0,149
15	0,245	0,078	0,289	0,092	0,349	0,111	0,32	0,102	0,415	0,132	0,49	0,156
16	0,255	0,081	0,295	0,094	0,36	0,115	0,332	0,106	0,43	0,137	0,503	0,16
17	0,264	0,084	0,302	0,096	0,368	0,117	0,342	0,109	0,446	0,142	0,512	0,163
18	0,27	0,086	0,308	0,098	0,377	0,12	0,352	0,112	0,459	0,146	0,522	0,166
19	0,277	0,088	0,314	0,1	0,386	0,123	0,361	0,115	0,471	0,15	0,534	0,17
20	0,283	0,09	0,32	0,102	0,393	0,125	0,369	0,117	0,481	0,153	0,544	0,173
21	0,289	0,092	0,326	0,104	0,399	0,127	0,377	0,12	0,49	0,156	0,553	0,176
22	0,292	0,093	0,33	0,105	0,404	0,129	0,384	0,122	0,496	0,158	0,559	0,178
23	0,296	0,094	0,333	0,106	0,408	0,13	0,390	0,124	0,502	0,16	0,565	0,18
24	0,302	0,096	0,337	0,107	0,411	0,131	0,396	0,126	0,509	0,162	0,572	0,182
25	0,305	0,097	0,34	0,108	0,416	0,132	0,402	0,128	0,515	0,164	0,58	0,185
26	0,308	0,098	0,344	0,109	0,421	0,134	0,407	0,13	0,522	0,166	0,584	0,186
27	0,311	0,099	0,348	0,111	0,426	0,136	0,412	0,131	0,528	0,168	0,588	0,187
28	0,314	0,1	0,352	0,112	0,43	0,137	0,417	0,133	0,534	0,17	0,592	0,188
29	0,316	0,101	0,355	0,113	0,434	0,138	0,421	0,134	0,537	0,171	0,599	0,191
30	0,318	0,101	0,358	0,114	0,437	0,139	0,425	0,135	0,54	0,172	0,606	0,193
31	0,32	0,101	0,361	0,115	0,44	0,14	0,429	0,137	0,554	0,176	0,611	0,194
32	0,322	0,101	0,364	0,116	0,443	0,141	0,433	0,138	0,547	0,174	0,617	0,196
33	0,324	0,103	0,367	0,117	0,445	0,142	0,436	0,139	0,55	0,175	0,623	0,198
34	0,326	0,104	0,371	0,118	0,447	0,142	0,44	0,14	0,553	0,176	0,628	0,2
35	0,327	0,104	0,373	0,119	0,449	0,143	0,443	0,141	0,556	0,177	0,633	0,201
36	0,329	0,105	0,377	0,12	0,451	0,144	0,446	0,142	0,559	0,178	0,639	0,203
37	0,33	0,105	0,38	0,121	0,454	0,145	0,449	0,143	0,563	0,179	0,645	0,205
38	0,333	0,106	0,384	0,122	0,455	0,145	0,452	0,144	0,565	0,18	0,65	0,207
39	0,335	0,107	0,386	0,123	0,457	0,145	0,454	0,145	0,568	0,181	0,655	0,208
40	0,336	0,107	0,389	0,124	0,459	0,146	0,457	0,145	0,57	0,181	0,659	0,21
43	0,339	0,108	0,397	0,126	0,467	0,149	0,464	0,148	0,574	0,183	0,668	0,213
45	0,34	0,108	0,399	0,127	0,468	0,149	0,468	0,149	0,579	0,184	0,678	0,216
50	0,346	0,11	0,408	0,13	0,474	0,151	0,477	0,152	0,588	0,187	0,694	0,221
55	0,352	0,112	0,415	0,132	0,48	0,153	0,484	0,154	0,596	0,19	0,704	0,224
60	0,355	0,113	0,421	0,134	0,484	0,154	0,491	0,156	0,603	0,192	0,713	0,227
65	0,358	0,114	0,425	0,135	0,488	0,155	0,496	0,158	0,607	0,193	0,721	0,23
70	0,36	0,115	0,429	0,137	0,493	0,157	0,501	0,159	0,61	0,194	0,728	0,232
75	0,361	0,115	0,433	0,138	0,496	0,158	0,506	0,161	0,613	0,195	0,735	0,234
80	0,363	0,116	0,436	0,139	0,499	0,159	0,509	0,162	0,615	0,196	0,739	0,235
90	0,366	0,117	0,442	0,141	0,503	0,16	0,516	0,164	0,619	0,197	0,747	0,238
100	0,368	0,117	0,446	0,142	0,506	0,161	0,521	0,166	0,622	0,198	0,755	0,24
150	0,375	0,119	0,458	0,146	0,518	0,165	0,537	0,171	0,635	0,202	0,778	0,248
200	0,378	0,12	0,463	0,147	0,524	0,167	0,545	0,173	0,64	0,204	0,787	0,251
300	0,38	0,122	0,471	0,15	0,534	0,17	0,554	0,176	0,65	0,207	0,801	0,255

Tablo 2. Kavrama açılarına ve dişli diş sayısına bağlı Lewis faktörü

Kavrama Açısı (α)	Profil Türü	Denklem (y)	R^2
14.5 °	Tam involut	$y = -1E\text{-}07x^4 + 1E\text{-}05x^3 - 0.0003x^2 + 0.0054x + 0.0614$	0.9972
20 °	Tam involut	$y = -2E\text{-}07x^4 + 2E\text{-}05x^3 - 0.0005x^2 + 0.0069x + 0.0714$	0.9966
20 °	Kök involut	$y = -8E\text{-}08x^4 + 1E\text{-}05x^3 - 0.0004x^2 + 0.0066x + 0.0811$	0.997
25 °	Tam involut	$y = -4E\text{-}08x^4 + 8E\text{-}06x^3 - 0.0003x^2 + 0.0057x + 0.093$	0.9976



Şekil. 6. Dişli hareketi esnasında bölüm dairesi üzerindeki temas noktaları

Temel dairesi olarak adlandırılan bir daire üzerinde kaymadan yuvarlanan ana doğru gibi bir doğrunun bir noktasının çizdiği eğridir. Şekil 6 da, ana doğru temel dairesi üzerinde kaymadan yuvarlanırken cizdiği eğri evolvent eğrisidir.

Kavrama Açısı (α): Dişli geometrisini etkileyen önemli parametrelerden biride dişli basınç açısıdır. B u açı genellikle 20° olarak kullanılmakta ise de 14.5° – 25° arasında değerlerde kullanılmaktadır. Aşağıdaki durumlar neticesinde dişli kavrama açısı artırılır:

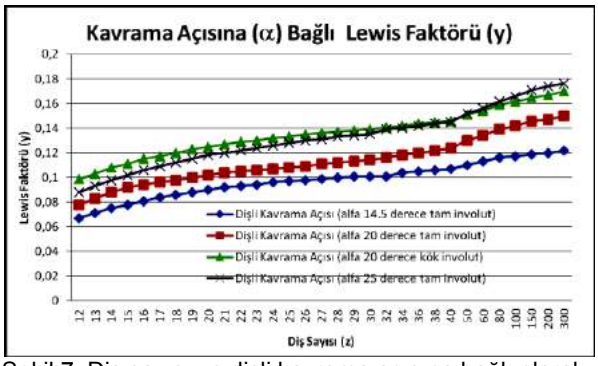
- Ara yüzey ve diş diplerinin zorlanmalara karşı dirençlerinin artırılması
- Kayma hızının azaltılması
- Dişlinin temas durumundaki yükleme ve aşınma dayanımlarını artırılması
- Diş profilinin rijitliğinin artırılması
- Çalışma sesinin ve radyal kuvvetlerin azaltılması gerektiğinde

3.2. Regresyon Analizi

İlgilenilen olayı tanımlayan rasgele değişken bağımlı değişken, bu olayla ilgili ya da olayı etkileyen değişken ise bağımsız değişken olarak tanımlandığında bağımlı değişken ile bir ya da birkaç bağımsız değişken arasında kurulan modeldeki parametreleri tahmin ederek bağımsız değişkenlerin belirlenen değerleri için, bağımlı değişkenin alacağı değeri belirleme problemine *regresyon* problemi denir. Burada, bağımlı değişken ile gösterilir ve açıklanan değişken olarak tanımlanır. Bağımsız değişken ile gösterilir ve açıklayıcı değişken olarak tanımlanır. Lewis form faktörleri değerleri çizelgeden sayısal hale dönüştürülmüş ve regresyon analizi yapılmıştır. Bu değerler vasıtası ile 14.5° kavrama açısı için R^2=0,9972, 20° kavrama açısı için R^2 = 0.9966, 20° kök involut (x=1) için R^2 = 0.997 ve 25° tam involut için R^2=0,9976 değerleri elde edilmiş ve matematiksel formulasyonları belirlenmiştir (Tablo 2).

Regresyon analizi ile belirli kavrama açıları için Lewis faktörü değerleri yüksek güvenirlilikle belirlenmesine rağmen farklı kavrama açıları için halihazırda bir matematiksel fonksiyon tanımlanamamıştır. Piyasada farklı kavrama açılarına sahip dişliler tasarlanıp imal edilmektedir; Örneğin 18° ve 22° lik kavrama açılarına sahip dişli çarklar. Bu dişli çarklar için Lewis tablosunda bir değer bulunmamakla birlikte, ancak interpolasyon yapılarak değerler elde edilmektedir. Bu değerlerin doğruluğu tam olarak bilinmemektedir. Bu sebeple bütün kavrama açılarını içerebilecek bir ANN yazılımı ile her kavrama açısı için güvenirliliği regresyon analizinden daha yüksek olan (R^2=0,99999) bir model geliştirilmiştir. Şekil 7. de dişli kavrama açıları ve diş sayılarına bağlı Lewis faktörü grafiksel olarak ifade edilmiştir.

Regresyon analizi ile belirli kavrama açıları için Lewis faktörü değerleri yüksek güvenirlilikle belirlenmesine rağmen farklı kavrama açıları için halihazırda bir matematiksel fonksiyon tanımlanamamıştır. Piyasada farklı kavrama açılarına sahip dişliler tasarlanıp imal edilmektedir; Örneğin 18° ve 22° lik kavrama açılarına sahip dişli çarklar. Bu dişli çarklar için Lewis tablosunda bir değer bulunmamakla birlikte, ancak interpolasyon yapılarak değerler elde edilmektedir. Bu değerlerin doğruluğu tam olarak bilinmemektedir. Bu sebeple bütün kavrama açılarını içerebilecek bir ANN yazılımı ile her kavrama açısı için güvenirliliği regresyon analizinden daha yüksek olan (R^2 = 0.99999) bir model geliştirilmiştir. Şekil 7. de dişli kavrama açıları ve diş sayılarına bağlı Lewis faktörü grafiksel olarak ifade edilmiştir.



Şekil 7. Diş sayısı ve dişli kavrama açısına bağlı olarak Lewis faktörü (y)

3.3. YSA'da Eğitme / Öğrenme

YSA modellinde birleşme fonksiyonu olarak Eşitlik (11)'de verilen ağırlıklı girdileri toplayan "toplam fonksiyonu", transfer fonksiyonu olarak ta Eşitlik (12)'de verilen Logistic Sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. Şartname ihtiyaç ve sınırlandırma girdileri ve çıktı katmanındaki veriler (0, 1) aralığında *normalize* edilmiştir. Normalize işlemi yazılan kod sayesinde program içinde otomatik olarak gerçekleşmiştir.

$$NET_i = \sum w_{ij}.x_j + w_{bi} \qquad (11)$$

$$f(NET_i) = \frac{1}{1+e^{-NET_i}} \qquad (12)$$

YSA modeli değişken sayıda gizli katman ve işlem eleman sayılarında, çok katmanlı tek yönlü hiyerarşik bağlantılı hatayı geriye yayma (Back Propagation) algoritmasının Scaled Conjugate Gradient (SCG) ve Levenberg-Marquardt (LM) versiyonlarının her biri kullanılarak eğitilmiş ve test küme verileri ile kontrol

edilmiştir [2, 16]. Sonuçta, YSA modeli ağ mimarisi Şekil 8'de görüldüğü gibi girdi katmanında 3 işlem elemanı, 12 işlem elemanlı tek gizli katman ve çıktı katmanında 1 işlem elemanından oluşmaktadır.

YSA modeli için bilgisayar programı MATLAB yazılımında geliştirilmiştir [17]. Eğitme işleminin ilk adımında, hangi eğitim algoritmanın kullanılacağı belirtilir. Gizli katman sayısının bir veya daha fazla olması için düzenleme yapılarak; girdi, gizli ve çıktı katmanı işlem elemanları sayısı girilir. Katman sayıları girildikten sonra iterasyon sayısı kullanıcı tarafından girilir ve eğitme işlemine başlar. İterasyon bitene kadar veya istenen hata miktarına ulaşana kadar eğitme devam eder. Eğitme işlemi bitince Şekil 9'de verilen, matematiksel hesap sonuçlarına karşılıkgelen YSA model temsili sonuçları, hem eğitim seti hem de test seti için grafikler halinde sunulmuştur.

Seçilen girdi ve çıktı değerlerinden oluşan YSA modeli veritabanı için, Lewis form faktörü grafiğinden 14.5°, 20° ve 25° dişli kavrama açıları için eğitim ve test küme verisi oluşturulmuştur. Diş sayısı, kavrama açısı ve involut değişkenleri YSA'da girdi katmanındaki verileri temsil etmektedir. Çıktı katmanında ise Lewis form faktörü değerleri kullanılmıştır. Bu değerler veritabanını oluşturmuştur ve eğitilmeye hazır hale getirilmiştir. Bu çalışmada, düz dişli çarklar için Lewis form faktörünün belirlenmesi YSA tabanlı yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Sonuçta eğitilen YSA modeli çok başarılı ve test verileri hata değerleri çok düşük bulunmuştur. Düz dişli çark tasarımında eğilme gerilmesinin hesaplanmasında Lewis form faktörü için kullanılan grafiksel ve teorik hesap analizleri simulasyonları yerine YSA'ların kullanılabileceği gösterilmiştir.

3.4. Test İşlemi

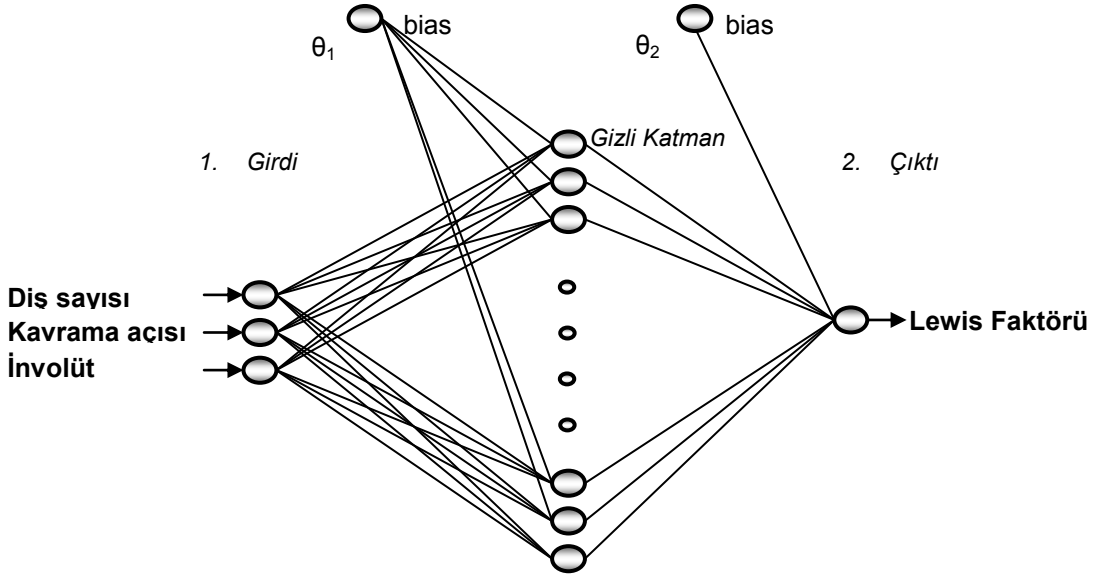
YSA'nın iyi eğitilip eğitilmediğini anlamak için, YSA'ya eğitim verilerinden başka daha önce hiç görmediği test verileri sunulur ve doğru sonuçlar verip vermediği kontrol edilir. Karşılaştırma amacıyla, istatiksel hata *RMS* (Root Mean Squared), R^2 (mutlak değişim yüzdesi), ortalama % hata gibi istatiksel değerler kullanılmıştır [18-20]. Bu değerler aşağıdaki eşitliklerle verilir;

$$RMS = \left((1/p) \sum_j \left| t_j - o_j \right|^2 \right)^{1/2} \quad (13)$$

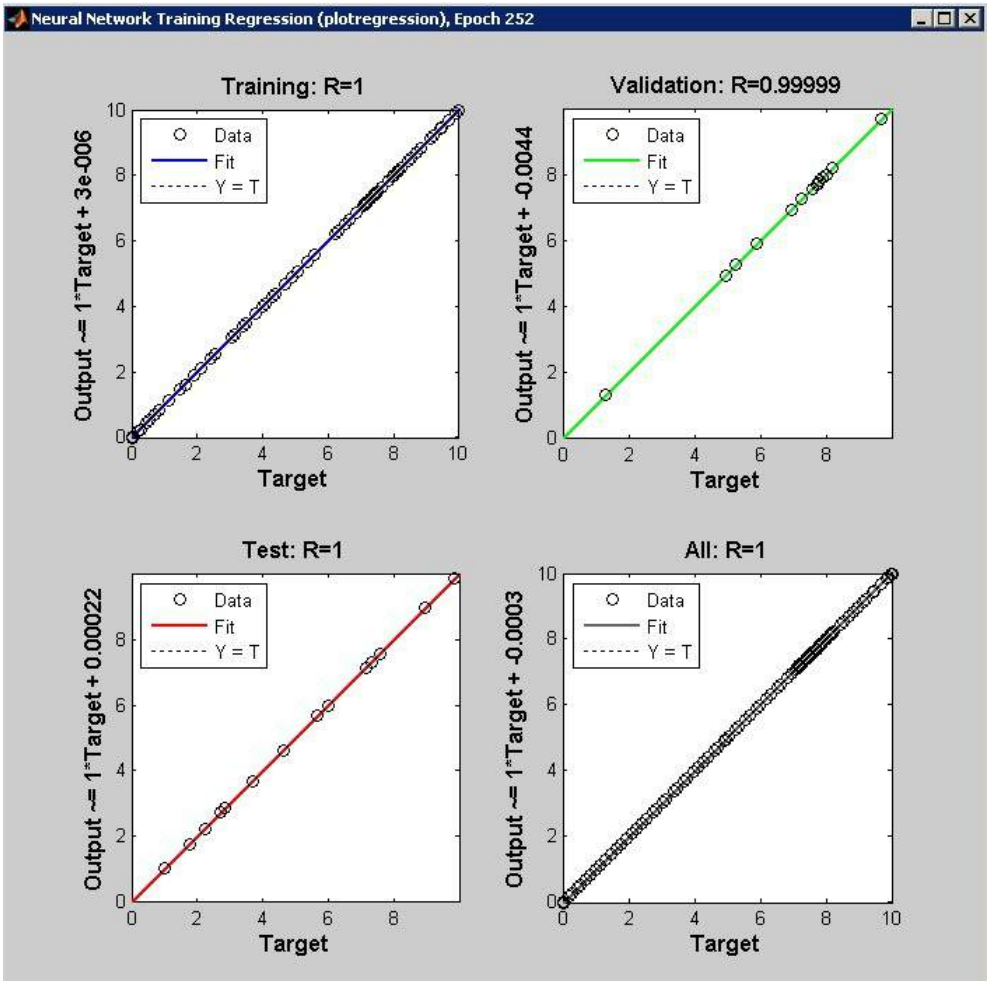
$$R^2 = 1 - \left(\frac{\sum_j (t_j - o_j)^2}{\sum_j (o_j)^2} \right) \quad (14)$$

$$Ort.\%Hata = \frac{\sum_j \left(\frac{t_J - o_j}{t_j} \times 100 \right)}{p} \quad (15)$$

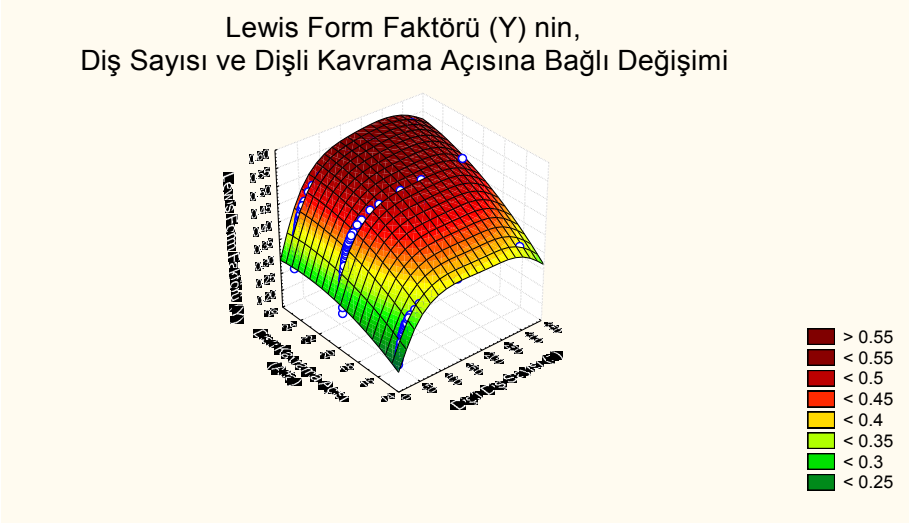
Burada *t* hedef değer, *o* çıkış değeri, *p* örnek adedidir.



Şekil 8. YSA modelinin mimarisi



Şekil 9. YSA modelinin performansları



Şekil 10.Dişli diş sayısına ve kavrama açısına bağlı olarak Lewis form Faktörü

4. Sonuç ve Öneriler

YSA modelinin deneme-yanılma yoluyla değişik eğitme algoritmaları, ağ yapısı (tek ve çift gizli katman sayısı ve 4'den 20'e kadar işlem elemanları) değiştirilerek eğitme ve test işlemleri tekrarlanmıştır. Diş sayısı ve kavrama açısı, involut değerlerine göre Lewis form faktörü değerleri, regresyon analiz sonuçları ve YSA modeli sonuçları istatistiksel hata analizleri ile karşılaştırılmıştır. İstatiksel hata analizlerinde eğitim kümesinin performansı ile test kümesinin performansı birlikte değerlendirilmiştir. Burada, ele alınan yapı deneme yanılma ile arama sonucu, LM algoritması

SCG'ye göre daha iyi öğrenme gerçekleştirmiş. LM algoritması 12 işlem elemanlı tek gizli katmanlı YSA modeli en az hata değerinde yani daha iyi öğrenme gerçekleştirmiş ağ mimarisi olarak seçilmiştir (R^2=0.997 Regresyon Analizi, R^2=0.99999 YSA modeli).

YSA tabanlı modelde, diş sayısı, kavrama açısı ve involut değişkenleri veri girdilerine bağlı olarak Lewis form faktörü değerleri YSA tabanlı modelde çok hassas sonuçlar vermektedir. Yapılan bu çalışma ile özellikle düz dişli çark tasarımında tablolardan değer okuma zorunluluğunu ortadan kaldırmış standart kavrama açıları için 14.5, 20°, 25° tam ve 20° kök (x=1) dişli tiplerine göre Lewis form faktörü formuluze edilmiştir.Tablodan değer okuma ve interpolasyon yapma zorunluluğunu ortadan kaldırmıştır.

Kaynaklar

[1] Akkurt, 2000, Makina Elemanları , 1986, Birsen yayınevi, İstanbul

[2] Toktaş İ., Aktürk N., "Silindirik Helis Dişli Çarkların Kavramsal Tasarımı İçin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Yeni Bir Yaklaşım", 1. Uluslar arası Mesleki Ve Teknik Eğitim Teknolojileri Kongresi, Marmara Üniversitesi, Sayfa 754-762, İstanbul/Türkiye, Eylül 5-7, (2005).

[3] Prabhakar, S. and Henderson, M.R., "Automatic Form-Feature Recognition Using Neural-Network-Based Techniques on Boundary Representations of Solid Models", Computer Aided Design, 24 (7): (1992) 38 –393.

[4] Henderson, M.R., "Manufacturing Feature Identification", Artificial Neural Networks for Intelligent Manufacturing, Ed. Dağlı, C.H., Chapman & Hall, Great Britain, Cornwall, 229-264, 1994.

[5] Nezis, K. and Vosniakos, G., "Recognizing 2½D Shape Features Using a Neural Network and Heuristics", Computer Aided Design, 29 (7): (1997), 523-539.

[6] Dağlı, C.H. and Poshyanonda, P. and Bahrami, A., "Neuro-Computing and Concurrent Engineering", Concurrent Engineering, Ed. Parsaei, H.R. and Sullivan, W.G., Chapman & Hall, Great Britain, Cambridge, 465-486, 1993.

[7] Chen, Y.H. and Lee, H.M., "A Neural Network System for Two-Dimensional Feature Recognition", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 11(2): (1998),111-117.

[8] Sun, J., Kalenchuk, D.K., Xue, D. ve Gu, P., "Design Candidate İdentification Using Neural Network-Based Fuzzy Reasoning", Robotics and Computer Integrated Manufacturing, 16: (2000), 383-396.

[9] Su, D., Wakelam, M., "Intelligent hybrid system for integration in design and manufacture",Journal of Materials Processing Technology, 76: (1998), 23-28,

[10] Kwang-Kyu Seo , Ji-Hyung Park , Dong-Sik Jang , David Wallace, "Prediction Of The Life Cycle Cost Using Statistical And Artificial Neural Network Methods In Conceptual Product Design", International Journal of Computer Integrated Manufacturing, Taylor & Francis, Volume 15, Number 6 / October 01, (2002), 541 – 554.

[11] Çağlar, N., "Yapay Sinir Ağları İle Binaların Dinamik Analizi", Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 31-44, 2001.

[12] Öztemel, E., "Integrating Expert Systems and Neural Networks for Intelligent On-Line Statistical Process Control", PhD Thesis, School of Electrical, Electronic and Systems Engineering, University of Wales, Cardiff, December, 1-38 (1992)

[13] Öztemel, E., "Bilgisayarlarda Öğrenme ve Yapay Sinir Ağları", Otomasyon, (1996), 134-140.

[14] Şen İ. Zeki, Özçilingir N., "Standard Makine Elemanları Çizelgeleri", Deha, İstanbul, (2004).

[15] Juvinall, R. C., Marshek, K. M., "Fundamentals Of Machine Component Design", John Wiley&Sons, Newyork, 1991.

[16] Hagan, M.T.and Demuth, H. B., "Neural Network Design", PWS Publishing Company, (12) 1-29, Boston, 1996.

[17] MATLAB 6.5 (Release 13), The Language of Technical Computing, The MathWorks, Inc., Natick, MA, 2002.

INVESTIGATION PRACTICABILITY OF DIGITAL IMAGE CORRELATION TECHNIQUE TO HIGH TEMPERATURE TENSILE TEST

SICAK ÇEKME TESTİNDE DIGITAL IMAGE CORRELATION TEKNİĞİNİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

Murat AYDIN [a], Jorge CISNEROS [b], Xin WU [c], Kerim ÇETİNKAYA [d]
[a, d] Karabuk University, Karabuk, Turkey, muratay din@karabuk.edu.tr; kcetinkaya@karabuk.edu.tr
[b, c] Wayne State University, Detroit, USA, jscisneros@gmail.com; xin.wu@wayne.edu

Abstract

The usage of non-contact measurement technique has gained speed recently by means of fast progress of technology. DIC (digital image correlation) technique has been widely used to measure deformation, damage and strain distribution in automotive industry, but the use of DIC for high-temperature deformation is still new and challenging. In this study, DIC technique was performed in uniaxial tensile test for strain and extension measurement, at both room and elevated temperatures. The results were compared with standard ASTM testing method. To demonstrate the feasibility of a simplified testing and 2D DIC measurement technique that is also applicable for hot stamping boron steel, one AHSS sheet metal used for autobody structure was tested at 800°C, 900°C and 1000°C using induction heating, allowing open view of specimens for DIC application. Room temperature tensile tests were used for comparing the non-contact measurement with that from standard extensometer. A commercial DIC software (VIC-2D) was used. Parallel to the DIC measurement is the temperature field measurement during the deformation using an infrared camcorder (FLIR T300). The significance of using DIC to replace the standard extensometer-based strain measurement and the further improvement of the high-temperature DIC technique are discussed.

Keywords: Hot Forming, Digital Image Correlatıon, Tensile Test, Hot Tensile Test, High-Temperature Measurement

Özet

Günümüzde teknolojinin hızla gelişmesi ile endüstride temassız ölçüm yöntemlerinin kullanımı hız kazanmıştır. Özellikle otomotiv sanayinde, DIC (Digital Image Correlation) tekniği, deformasyon, hasar ve uzama ölçümlerinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaya başlanmasına rağmen yüksek sıcaklıktaki deformasyon ölçümlerinde halen üzerine çalışılan bir yöntemdir. Bu çalışmada, DIC tekniği oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıktaki tek eksenli çekme testinde malzemenin uzama ölçümlerinin yapılması için uygulanmıştır. Sonuçlar numerik simülasyonlar ve ASTM test standarttı ile karşılaştırılmıştır. Kullanılan DP980 malzeme 800°C, 900°C ve 1000°C'de indüksiyon ısıtılarak test edilmiştir. Yüksek sıcaklık ve oda sıcaklığı çekme testleri kaydedilmiş ve VIC-2D yazılımı ile analiz edilmiştir. DIC ölçümlerine paralel olarak, deformasyon süresince sıcaklık ölçümü temassız termal kamera kullanılarak kayıt edilmiştir. DIC tekniğinin standart ekstensometreye dayalı uzama ölçümlerinin yerine kullanılmasının önemi ve DIC tekniğinin yüksek sıcaklıklarda kullanımı tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Sıcak Şekillendirme, Dijital İmaj Korelasyon, Çekme Testi, Sıcak Çekme Testi, Yüksek Sıcaklık Ölçümü

1. Introduction

For energy saving and environmental protection new materials and new forming processes are under rapid development. While most light metals and advanced high strength steels (such as martensite steels) have rather poor formability, upon heating they have shown significant formability enhancement, being adapted for autobody manufacturing. Hot forming of metallic materials is an attractive research field in recent years due to the fact that high forming limits and high accuracy and precision of product dimensions can be achieved. The main challenge is to measure the deformation strain and damage of product at elevated temperature during the forming process. Traditional measurement techniques using extensometer to measure gauge length extension can only obtain material intrinsic properties up to necking on-set point, which gives limited data for most AHSS and lightweight metals, and are insufficient for obtaining properties at elevated temperature, at which necking often occurs at the early stage of tensile deformation, leading to wrong results from extension that only can measure uniform portion of the deformation. Digital image correlation (DIC) technique tracks local displacements and obtain local strains over entire gauge section, thus it becomes critical for obtain materials' properties and forming limit curves (FLC) at elevated temperatures, very important for developing hot stamping processes.

DIC is a full-field measurement technique that can be easily applied and used in many fields such as materials science, automotive industry, physic. The history of image based measurement techniques can go back to the early times when this was the application field of photogrametry. According to Doyle and Gruner[2], , the earliest description and perspective discussion on this topic can be found in the writings of Leonardo da Vinci in 1480 and his study in 1492. During the next 3 centuries, key developments with wide recognition include Heinrich Lambert's studies about basic mathematical approach of perspective and imagining. After the invention of photogrametry, image based measurement was rapidly increased in many years.

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

Of the priority study about image correlation technique, Peters and Ranson[2] suggested that computer based image acquisition and deformation measurements in materials science in 1982. In their study, ultrasonic waves were applied as a way of loading and unloading, and the cumulated deformation of the specimens over time were recorded digitally to measure full-field deformation. Their study is based on comparison of the small regions which was obtained from digital images before and after the loading process, to locate the positions of the regions. They suggested that fundamental continuum mechanics concepts can be used to perform matching process and obtain the deformation of small areas.

In 1990, there were limited studies about the accuracy and precision of the digital image correlation technique in full-filed deformation measurement. Sjödahl[2] discussed the accuracy of measurements in electronic speckle photography and many researchers studied about the application of this method to measure surface deformations of planar objects. İn 2000, the digital image correlation research has increased rapidly worldwide. Especially in the past 5 years, DIC measurement can easily be adapted onto 2D or 3D measurement in many fields such as deformation, damage and strain measurement. Palanivelu et al[4] applied DIC measurement technique to impact load applications. They developed algorithms to measure impact parameters such as time-deformation, impact velocity and impact force. The authors performed axial impact test with different specimens to verify DIC results with experiment results.

Whether large deformations can occur or not, the DIC can be used in many application areas. Cintrón[3] et al., used the DIC technique to measure 2D deformation and axial strain of different stone blocks in construction area. Zhengzong[5] et al., investigated measurement of large deformations using digital image correlation. They used two cameras in different angles and merged the images based on stereo vision model to measure displacements.

The DIC is a flexible technique not only to measure full-field deformation of flat surface but also it can be used 3D measurements of objects. Xu Chen[6] et al. developed multi-camera system that has two pairs of camera which are located onto different angles to make 3D measurement. They developed 3D reconstruction algorithm based on merging images that were taken from 4 different angles and it is used to measure time-displacement of object. The DIC measurement gives good results at room temperature either 2D measurement or 3D measurement of an object. Beyond the room temperature experiments, DIC can be applied in high temperature experiments as well. Bing Pan[1] et al. they applied DIC measurement into high temperature experiments. They measure thermal deformation of flat surface under the 1200°C.

2. Experimental Method

2.1. DIC Measurement

Digital image correlation (DIC) is used to measure the distribution of displacement and strain over specified field in whole deformation process. One of the main instruments in DIC is the camera. The professional high resolution and high frame per second (fps) camera can increase the accuracy and precision of measure, at a higher system cost. In this study, Canon T3i DSLR was used that has 1920x1080 resolution and 30fps, with a 58mm diameter and 18-55mm (f/3.5-5.6) macro lens, and with a violet light filter to prevent sparkle and glare light from the metal surface, see Fig. 1.

One of the challenges of DIC measurement at elevated temperatures is to keep good contrast and intensity of the interested image information during whole process. However, when the metal material is heated up, the color was turning into red due to thermal radiation. This color change affects the grayscale images unfavorably. The color changing area is brighter than other regions, see Fig. 2. DIC measurement of this brighter area is difficult because of the losing greyscale intensity.

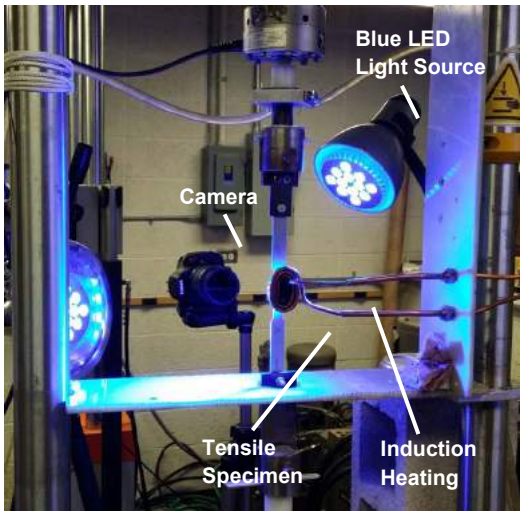
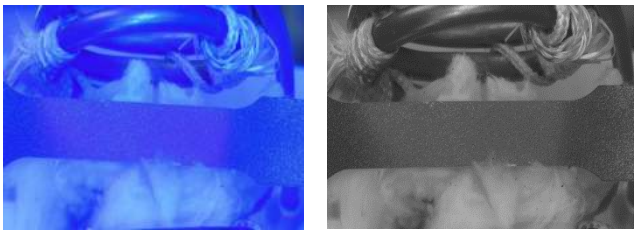


Fig. 1 The DIC system (a) Canon T3i Camera (b) Lighting sources



(a) (b)

Fig. 2 (a) Glowing area in RGB. (b) Glowing area in greyscale mode.

To avoid this unfavorable effect, blue LED lighting was directed onto metal surface. The wavelength of blue LED lighting is to be efficient wavelength to emit the thermal radiation energy. In Fig. 3 the energy under the different temperatures is given as a function of wavelength. The blue LED lighting in the experiment has 450 nm wavelengths to emit the thermal radiation energy, and with the blue filter lens it provides sufficient light intensity and image contrast yet reduces glare lights. The blue LED lighting source is also shown in Fig 1.

The random spackle pattern is one of the important issues that can affect the correlation results directly. To get high and precision correlation, the pattern size must be small.

Although many commonly used water based paints can give good results to create spackle pattern at room temperature experiments, at elevated temperatures and under a high plastic deformation they cannot survive or, provide required spackle pattern quality before the end of the process. During this study, different high temperature paints were applied onto metal surface and the best result was got using Aremco PyroPaint 634-ZO that is highly-filled zirconium oxide-based coating, capable of producing a hard, chemically-stable protective layer. The black spackles were created on top of this white background. In Fig. 4, random speckle pattern onto metal surface at 800°C is shown. For the room temperature test, VHT FlameProof, a silicone ceramic based paint was used for fast drying and reduced cure time required.

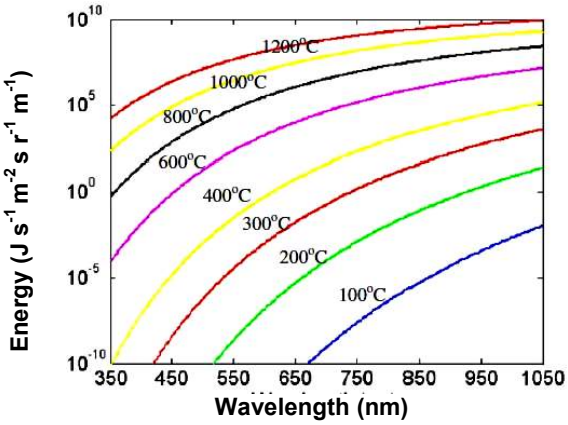


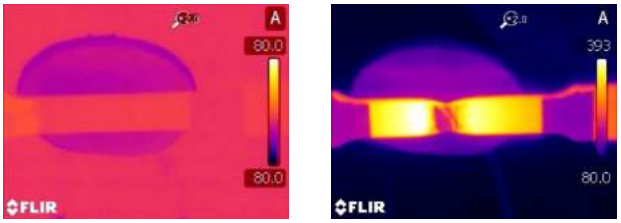
Fig. 3 Thermal radiation energy under the different temperatures as a function of wavelength

Fig. 4 Random speckle pattern under 800°C

All the mechanical tests were performed with Instron 8801 tensile machine. To heating up the tensile materials, Toccotron induction power supply was used to generate enough power for induction heating. The maximum power output is 27.19 kW, at 460V and 39A. In the tensile tests, the temperatures were measured with a non-contact infrared camcorder, FLIR T300 thermal camera that records whole process during the tensile test. A separate Omega OS550 Infrared Pyrometer was used to measure the specimen central area for close-loop control of induction power, and also to provide a calibration the thermal imaging measurement at the central point. The thermal pictures of material (a) at room temperature and (b) before the fracture are shown in Fig. 5.

2.2. Material

In this study, DP980 steel was used to make hot tensile test. The material consists of a ferrite matrix and a hard second phase, usually islands of martensite. Before the hot tensile test, to verify accuracy of DIC measurement with traditional measurement, a dummy material was used in tension at room temperature. The thicknesses of both materials are 1.3mm and the tensile specimens were machined according to ASTM E8.



(a) (b)

Fig. 5 (a) Material at room temperature. (b) Material at fracture moment.

3. Experiment Results

3.1. Room Temperature Tensile Tests

Room temperature tensile tests were performed with 0.1mm/s strain rate and extensions of tensile strips were measured using a standard extensometer that has 50.8mm gage length, along with the DIC measurement. After the whole process was recorded, the frames were created. For the calculation of non-contact measurement, the virtual extensometer from DIC system using the images covering the same 50.8mm gage length. The extension was created from the images using VIC-2D software. In Fig. 6 the comparison between engineering strain-stress curves were obtained from physical extensometer and non-contact (optical) method. The gage length was defined by the two painting boundaries that overlay with the two gage length edges, which was created by two Scott types that shielded the paint. After the paint was dried the types were peeled out, leaving clear boundary of the tensile gage length.

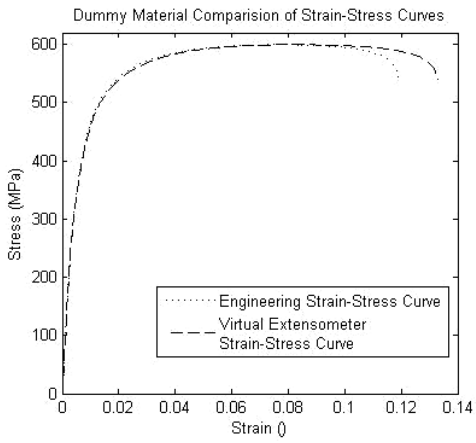


Fig. 6 The comparison between engineering strain-stress curve and virtual extensometer measurement

Before room temperature tensile test, the calibration was made with common tape measure to convert pixels to millimeter. The camera was setup as 1920x1080 pixels resolution and 16:9 aspect ratio and 16 bit depth of color. The total test time was 39.92 seconds. The recorded video was edited with commercial video editing software to get series of image sequences. The images were got as 30 frames per second. After getting image sequences, the images were converted into greyscale format as a TIF file type. To make correlation the image sequences were imported into VIC-2D software. The DIC technique is based on tracking and matching each unique pattern islands among images or different times. The unique

pattern of each location can be defined using subset size and step size to track and calculate displacements. The subset size for room temperature tensile is 29x29 pixels and step size 5x5 pixels as default in software.

DIC allows obtaining entire deformation field. For demonstration purpose two points were selected for comparison of uniform deformation and localized deformation. Point 1 is at the out of fracture area in AOI and Point 2 is located near the fractured area. In Fig. 7 true stress-true strain curves were shown for the two points, where the strains were measured up to fracture also shown is the virtual extensometer measurement up to necking strain.

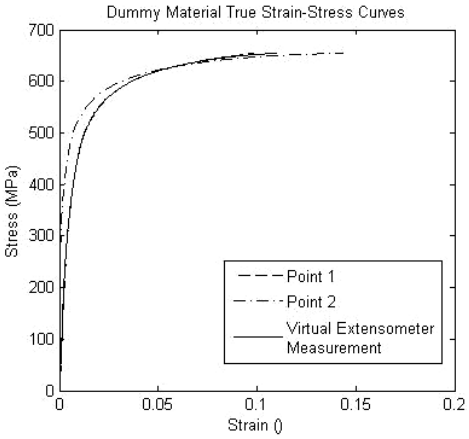


Fig. 7 True strain measurement of points up to necking.

3.2. High Temperature Tensile Tests

At elevated temperature extensometer was not convenient to use. So, all extension measurements of materials were performed using virtual extension measurement technique in VIC-2D software with similar approach to the room temperature tensile test. The high temperature experiments were underwent at three different temperatures as 800°C and 900°C and 1000°C. Faithfully ASTM E8, the strain rate was used as a 0.2mm/s at elevated temperature tests to keep contrast intensity of paint. In Fig. 8, virtual extension measurements of DP980 material at three different temperatures were showed.

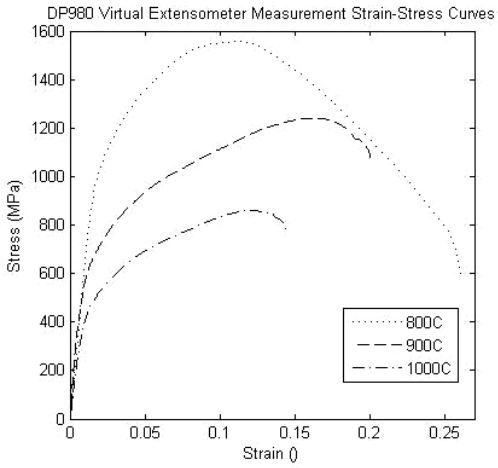
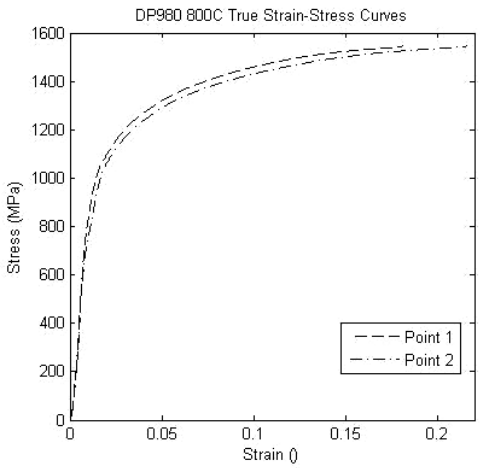


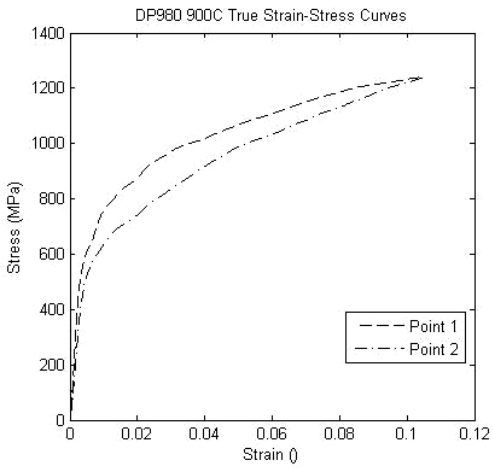
Fig. 8 Virtual extensometer measurement under different temperatures

As same as the room temperature tests, two points were selected for each temperature up to necking point. In the high temperature tensile test, the fracture area has too many color changing and distortion of the speckle. For this reason, it is hard to get strain values of points on fracture line. So, it was tried to pick as close as to fracture line for point 2. In Fig. 9 explains the true strain measurement of points at (a)800°C and (b)900°C and (c)1000°C up to necking point.

Similar to the room temperature test, high temperature tensile test was recorded with the same resolution, frame per second and depth of color. The total tensile test time for 800°C was 70.25 seconds and for 900°C was 54.79 seconds and for 1000°C was 38.81 seconds. In high temperature tests, the biggest challenge was the keep the paint onto metal surface during the test process. On the other hand, the paint was exposure heat and also deformation simultaneously. So, DIC was made good results using higher subset size compared with the room temperature tensile. The subset size was 41x41 pixels and step size 5 pixels were used making DIC correlation in VIC-2D software.

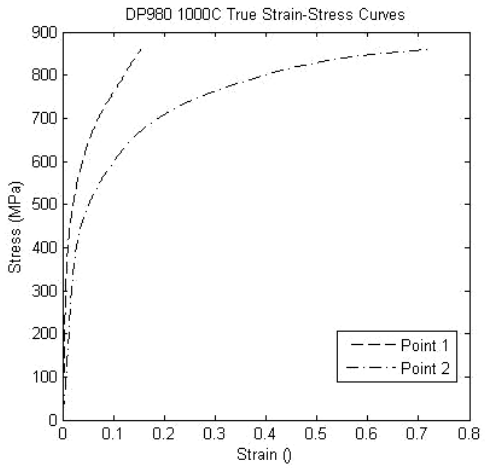


(a)



(b)

Fig. 9 True strain measurement of 3 points and virtual extensometer measurement up to necking point at (a)800°C and (b)900°C and (c)1000°C



(c)

Fig. 9 True strain measurement of 3 points and virtual extensometer measurement up to necking point at (a)800°C and (b)900°C and (c)1000°C (continued)

4. Conclusion

In this study, it is proved that DIC measurement can be easily adapted to forming of metallic materials under the high temperature not only the tensile experiments but also other forming processes. A low cost, easy setup and commercial equipment can be used to non-contact strain and displacement measurements of tensile test. The virtual extensometer approach in DIC technique was given satisfactory results to get strain measurement at room temperature level. At high temperature strain measurement, each points under the various temperatures has not been have same strain due to higher temperature and inhomogeneous temperature distribution of the materials. On the other hand, if homogenous temperature distribution can be got, each point on the fracture line and also out of the fracture area can give more accurate results about the strain behavior of materials. DIC is a new and fast growing area to easily adapt any other measurement experiments. Besides, using DIC at high temperature forming is a new approach and future works will be presented focus on fracture line area measurement.

References

[1] Bing Pan, Dafang Wu, Zhaoyang Wang and Yong Xia, High-temperature digital image correlation method for full-field deformation measurement at 1200°C, Measurement Science and Technology, vol. 22, no. 015701, pp. 1-11, 2011.

[2] Sutton, M.A., Orteu, J.J., Schreier, H.W., Image Correlation for Shape, Motion and Deformation Measurements', Springer, pp.1, 2009.

[3] Cintrón, R. and Saouma, V., Strain Measurements with the Digital Image Correlation System Vic-2D, CU-NEES-08-06, pp.1-23, 2008.

[4] Palanivelu, S., Pauw, S.D., Paepegem, W.V., Degrieck, J., Validation of digital image correlation technique for impact loading applications, DYMAT, pp.373-379, 2009.

[5] Zhengzong Tang, Jin Liang, Zhenzhong Xiao, Cheng Guo, Large deformation measurement scheme for 3D digital image correlation method, Optics and Lasers in Engineering, vol. 50, pp. 122–130, 2012.

[6] Xu Chen, Lianxiang Yang, Nan Xu, Xin Xie, Bernard Sia, Roger Xu, Cluster approach based multi-camera digital image correlation: Methodology and its application in large area high temperature measurement, Optics & Laser Technology, vol. 57, pp. 318-326, 2014.

ALÇAK GERİLİM İLETİMİNDE KULLANILAN KONTAKTÖRLEDEKİ SORUNLARI ÖNLEMEK AMACIYLA TASARIM İYİLEŞTİRMESİ

DESIGN IMPROVEMENT FOR PREVENTION OF PROBLEMS ON THE CONTACTORS USED IN LOW VOLTAGE TRANSMITTING

Cevdet GÖLOĞLU [a] ve Hakan MADEN [b]
[a] Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 78050, Karabük, Türkiye, E-posta: cgologlu@karabuk.edu.tr
[b] İhlas Ev Aletleri, İstanbul, Türkiye, E-posta: hmaden@iea.com.tr

Özet

Müşteri bir ürüne karar verirken hedeflediği ürünün arızalanmamasını istemektedir. Buna karşın, ürün montajından, bileşen parçaların üretimindeki tasarım hatalarından veya hazır satın alınan bileşenlerin hatalarından kaynaklanan arızalar oluşmaktadır. Firmalar piyasadaki ürünün güvenirliğinin kaybolmaması için arızayı anında tespit edip en kısa zamanda çözümler üretmek zorundadır. Makalede temizlik robotlarında bulunan kendi etrafında dönen bir hortumun kontaklar vasıtasıyla elektriği başka kabloya aktarılmasında kullanılan parçaların iletim esnasındaki yaşanan problemleri ele alınmaktadır. Üzerinde çalışılan ürün hakkındaki problem bildirimlerinin, ürün satış rakamları dikkate alındığında yüksek olduğu gözlenmiştir. Yapılan incelemelerde problemler tespit edilmiş, bu problemler yeni tasarımda giderilmiştir. Bu iyileştirmelerin sonucunda, yeni tasarımda arızaların satışa oranının azaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak yapılan iyileştirmeler ürün kalitesi ve ürün güvenirliği artırmış, servis maliyetlerini düşürmüştür. Ayrıca kar oranları yükselmiştir.

Anahtar kelimeler: Tetik fiş yatak, kontak, bakır bilezik, tasarım iyileştirme

Abstract

When deciding on a product, a customer does not want that the targeted product are broken down. On the other hand, the faults are occurred as the results of product assembly, design defects of produced components or failures of assembly ready purchased components. Firms have to detect the faults and produce solutions as soon as possible to avoid losing the reliability of the product on the market. In this article, the experienced problems during the transmitting of electricity by the components that are used for transmitting the electricity to the other cables by means of contacts in a hose that rotates around itself in cleaning robots are discussed. It is observed that the problem statements about the considered product are high in considering the amount of product sales. In the investigations, the problems were identified and they were corrected in the new design. As a result of these improvements, it was observed that failure to sale ratio has reduced by the new design. In conclusion, the improvements made have increased the product quality and reliability, and they have reduced service costs. Furthermore, the profit rates have increased.

Keywords: Trigger plug bed, contact, copper bracelets, design improvements

1. Giriş

Her insan sağlıklı ve mutlu bir yasam için, daha az enerji harcayarak, kısa zamanda yapıp diğer faaliyetlerine yeterli zaman ayırmayı ister. Kişinin yapmak zorunda olduğu isleri yerine getirmesi, harcadığı zaman ve enerjiyi azaltarak yorgunluğunu en aza indirmesi için yardımcı araçlar kullanması gerekir [1]. Bu araçlardan büyük elektrikli araçlar kapsamına giren temizlik robotları IEC 60312-1'de verdiği tanıma göre; elektrikli süpürgeler yüzeylerden toz, kıl, yün gibi kirlilikleri vakum ve hava akımı oluşturan bir motor kullanarak temizleyen cihazlardır [2]. Temizlik robotları gibi satın alma sıklığı seyrek ve maliyeti yüksek olan araçları satın almadan önce ihtiyacın doğru olarak saptanması, araç hakkında yeterli bilgi edinilmesi, piyasadaki araçlardan en uygun olanının seçilmesi mevcut kaynakların yerinde ve verimli kullanılması açısından önem taşımaktadır [3-4]. Bu nedenle ailelerin satın almayı düşündükleri temizlik robotu para, zaman, enerji gibi satın alma ve kullanma maliyetlerinin yanı sıra farklı marka ve modellerin gereksinim ve istekleri karşılama durumunu, performansını ve ergonomik özelliklerini karşılaştırarak bir plan yapması ve satın almaya karar vermesi gerekmektedir [3-5]. Teknolojide meydana gelen değişikliklerle birlikte yeni ve çeşitli elektrikli ev araçları piyasa çıkmış ve bunları kullanan ailelerin sayısı artmıştır [6]. Müşteri, ürün seçiminde kalite, fiyat ve satın alma sonrası hizmeti önemsemektedir [7]. Ürün hayat çevriminde yer alan, yeni ürün tasarımı, piyasaya ürünün tanıtımı, ürünün yaygınlaştırılması, piyasadaki olgunluk ve düşüş aşamaları doğrudan satışlardan toplanan gelir miktarındaki kar oranı artışa etki etmektedir [8-10].

Ürünü satışından hedeflenen kar ve ciro değerlerinin yüksek olması için ürün satışının yüksek olması ve bu satışın uzun sürmesi gerekmektedir. Bunun sağlanabilmesi için ürün ilk piyasaya sürüldüğünde, üründe ortaya çıkabilecek problemlerin anında iyileştirip piyasadaki ürünlerdeki hataların düzeltilmesi ve yeni yapılan imalattaki ürünlerin hatasız olarak piyasaya sürülmelidir. Bu ise ürünün satış adetlerin artmasına ve servis maliyetlerin düşmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Elektrikli ev temizlik robotlarında meydana gelen temel sorunlar şöyledir:

- Elektrik motorun yanması,
- Toz kaçakların yüksek olması,

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

- Plastiklerin yüzeylerin kolay çizilmesi ve kırılması,
- Elektronik devrelerin bozulması,
- Vakumun düşük olması,
- Yüksek elektrik harcaması,
- Cihaz sesinin yüksek olması,
- Motorlu aparatların elektrik iletimi sorunu vb.

Bu makalede temizlik robotların elektrik aktarımında kullanılan tetik mekanizmaları tasarımlarının arıza tespitlerinde bulunmak, bu arızların piyasa gözlemini yapmak, arızalara neden olan operatör hatalarını ve kullanımdan gelen arızaları tespit etmek, hasar görme nedenlerinin doğrulanması, tasarımda ortaya çıkan hataların giderilmesi, şartlara göre eniyilemesi ve birbirini kapsayan çözüm aşamasının incelenecektir.

2. Problem Tanımı

Elektrikli ev aletlerinde temizlik robotu veya elektrik süpürgelerinde hortumundan alçak gerilim taşımaktadır. Elektrikli hortumlar tetik kısmındaki tambur parçasında monte edilmektedir. Tambur üzerinde bakır bileziklere hortumdaki elektrik kabloları bağlanarak bakır bileziklere elektrik iletimi sağlanmaktadır. Tetik üzerinde bulunan tetik fiş yatağına monte edilmiş kontaklar, tetikteki fişe elektrik akımını aktarmaktadır. Tambur ve tetik fiş yatağı plastikleri elektrik taşıyan metal parçalara doğrudan temas etmesinden dolayı TS EN 60335-1 standardının Madde 30.2.2'ye göre kullanılan plastiklerin uygun olması gerekmektedir [11]. Bu nedenle üzerinde çalışılan üründe plastik parçalar PA6+%25GBR V0 yanmaz malzemeden yapılmıştır.

Tetik fiş yatağında tespit edilen bu sorunların, Eylül 2013'de üretilen ürünlerdeki fiş yatağından kaynaklanan hata oranları verilmiştir. Bu veriler Ekim 2013'de satılan ilgili ürünlerin seri numaraları dikkate alınarak tespit edilmiş ve bu seri numaralarına göre tetik fiş yatağından kaynaklanan arıza tespit verileri oluşturulmuştur (Çizelge 1).

Elektrikli ev aletlerinde kullanılan kendi etrafında 360° dönen bir elektrikli hortumun bir kontaklar vasıtasıyla doğrusal olarak başka kabloya aktarılmasında kullanılan parçaların elektriği iletmesi esnasında yaşanan problemler şunlardır:

- Kontakların açılı bir şekilde montaj edilmesi
- Kontakların basma mesafesinin az olması

2.1. Kontakların Açılı Bir Şekilde Montaj Edilmesi

Tetik fiş yatağına montaj edilen kontakların, montaj edildiği yuvada boşlukların fazla olmasından dolayı vida ile montaj edilirken açılı bir şekilde montaj edilmektedir (Şekil 1). Bu açılı kontaklar ürünün ilk çalışmalarında elektrik geçişini sağlamaktadır. Fakat zaman içerisinde hortumun dönmesinden ve kullanımdan dolayı kontakla bakır bilezik arasında temas kesilebilmektedir (Şekil 2).

Şekil 2'de kontakların montajının açılı bir şekilde yapıldığı görülmektedir. Bunun nedeni kontakların dış duvarla boşluğun olması ve yan federler ile boşlukların fazla olmasından dolayı vida ile montaj edilirken açılı bir şekilde montaj edilmesi zorunluluğudur. Tetik fiş yatağın ürüne montaj edildiğinde Şekil 1'deki bakır bileziklere değmesi zor olmaktadır. Kablolu hortum zaman içerisinde kendi etrafında dönerek kontakların bakır bileziklerle teması kesilmekte, tetik fiş yatağına bağlı olan aparatı çalışmamaktadır.

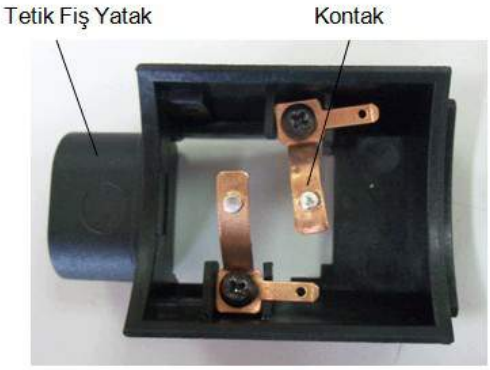
Şekil 1. Sistemin montaj halindeki durumu

Çizelge 1. Ekim 2013 satış adedine göre arızalar

Ekim 2013 Tarihinde Satılan Ürünün Satış Adedi ve Kontak Arıza Çizelgesi		Arıza Durumu	Satış Adedi	Arıza Adedi	Arıza Oranı (%)
	1	Adana	129	4	3,1
	2	Ankara	238	9	3,8
	3	Antalya	83	2	2,4
	4	Aydın	34	1	2,9
	5	Balıkesir	89	3	3,4
	6	Bursa	275	8	2,9
	7	Denizli	137	5	3,6
	8	Diyarbakır	29	1	3,4
	9	Erzurum	42	1	2,4
	10	Eskişehir	38	1	2,6
	11	Gaziantep	32	1	3,1
	12	Hatay	34	1	2,9
	13	İstanbul	563	20	3,6
	14	İzmir	147	4	2,7
	15	Kahramanmaraş	37	1	2,7
	16	Kayseri	19	0	0,0
	17	Kocaeli	136	4	2,9
	18	Konya	41	1	2,4
	19	Malatya	32	1	3,1
	20	Manisa	23	0	0,0
	21	Mardin	25	1	4,0
	22	Mersin	168	6	3,6
	23	Muğla	38	1	2,6
	24	Ordu	20	0	0,0
	25	Sakarya	49	2	4,1
	26	Samsun	58	2	3,4
	27	Şanlıurfa	27	1	3,7
	28	Tekirdağ	31	1	3,2
	29	Trabzon	42	1	2,4
	30	Van	36	1	2,8
	31	Diğer İller	656	21	3,2
		Toplam	3308	105	3,2

Bu durumun tespiti, ülke çapındaki satış sonrası servislerde bulunan iletişim ağıyla tedarik edilmiştir. Aynı kalemdeki arıza miktarları satış miktarına oranı %1 aşması durumunda veri toplama sistemi otomatik olarak ilgili

birimlerden toplanmıştır. Tetik mekanizması üzerinde elektrik geçişinin olup olmadığının tespiti için multimetre ile ölçümler yapılmış, tetik fiş yatağında elektrik geçişinin olmadığı gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 2. Kontakların fiş yatağındaki görüntüsü

Şekil 3. Tetik fiş yatağında elektriğin multimetre ile denetimi

2.2. Kontakların Basma Mesafesinin Az Olması

Üretim hattında bulunan tetik fiş yatağına montaj edilen kontakların derinlik mesafeleri belirlenen ölçü aralıkları tolerans (8±0,1 mm) içinde olmalı gerekmektedir. Bu derinlik mesafesi, imalatı yapan firmanın üretim hatalarından, üretim hattında kontakların bir arada bulunarak şekil değiştirmesi nedeniyle ve montaj sırasında operatör tarafından bilmeden aşırı baskı uygulanması vb. nedenlerden dolayı derinlik mesafesinin (B) boyutları değiştirilmektedir (Şekil 4). Sayılan nedenlerden dolayı bakır bilezik ile kontakların teması zor olmaktadır. Elektrik hortumda oluşan hareketler sonucunda kontakların teması kesilerek tetik fiş yatağına bağlı olan aparatı çalışmamaktadır.

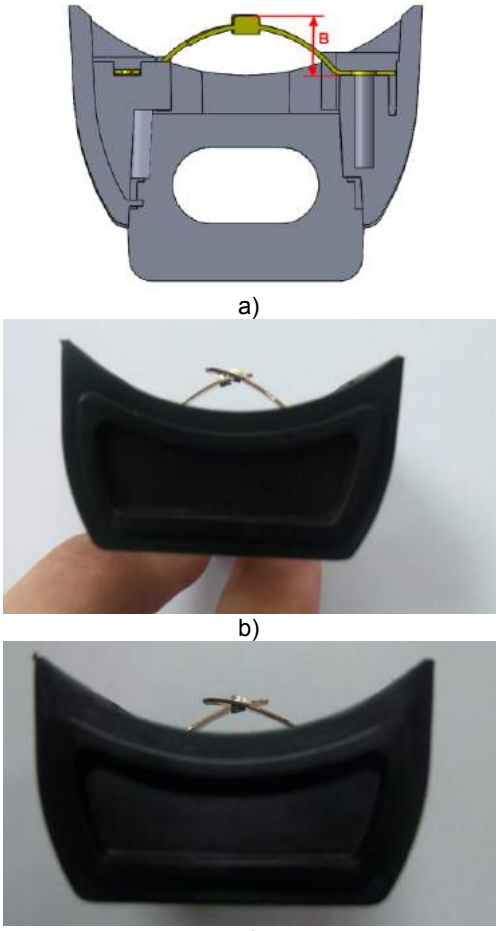
3. Problem Çözümü

Yapılan değerlendirmeler sonucunda ürün üzerinde tespit edilen iki farklı problem ile ilgili iki farklı çözüm yapılmıştır. Bunlar:

- Kontak dönmesinin engellenmesi
- Kontak temasının artırılması

3.1. Kontak Dönmesinin Engellenmesi

Tetik fiş yatağı ile kontak bağlantı yuvası incelendiğinde kontağın formundan büyük olduğu tespit edilmiştir. Tetik fiş yatağında kontağın bağlantı yerinde kontak ölçülerine göre yeniden tasarımı yapılmıştır. Yapılan bu tasarımda kontağın üç tarafını saracak ve kontağın dış duvar ile boşluk giderecek şekilde, kontağın bakır bileziği temas eden kolu desteklemesi hedeflenmiştir (Şekil 5).



Şekil 4. Kontakların a) B derinlik mesafesi b) olması gereken derinlik mesafesi c) mesafenin deformasyonu

Yeni tetik yatağı tasarımının enjeksiyon kalıbından çıkabilmesi için uygunluğu analizi (Draft analizi) yapılmıştır. Analizde parçanın kalıptan çıkmasında bir sorun olmadığı gözlenmiştir (Şekil 6).

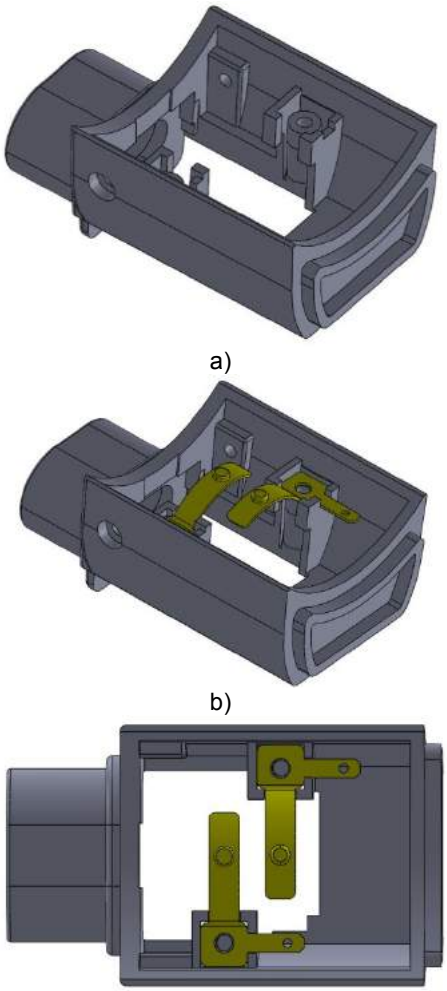
3.2. Kontak Temasının Artırılması

Tetik fiş yatağında oluşan bu problem, kontakların montaj aşamasında ve kontakları üreten firmadan montaj hattına girinceye kadar sürede derinlik mesafesinde azalmalar olduğu gözlenmiştir. Kontakların derinliğin azalması iki farklı şekilde olduğu tespit edilmiştir. Bunlar:

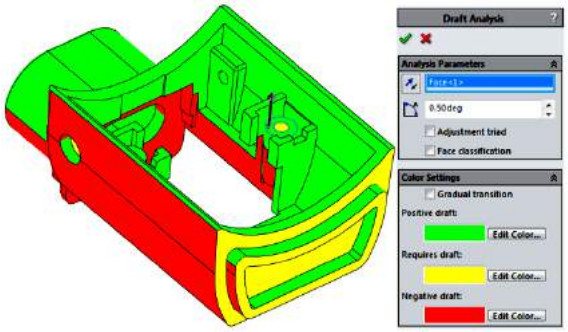
- Operatörden kaynaklanan hatalar
- Kontak üretici firmadan kaynaklanan hatalar

3.2.1. Operatörden kaynaklanan Hatalar

Operatör tetik fiş yatağına kontakları montaj edilirken kontakların kulaklarına Şekil 7'de gösterilen A yönünde istenmeyen bir baskı uygulamaktadır. Bu baskı sonucunda kontakların kulakların B derinlik mesafesini azaltmaktadır.

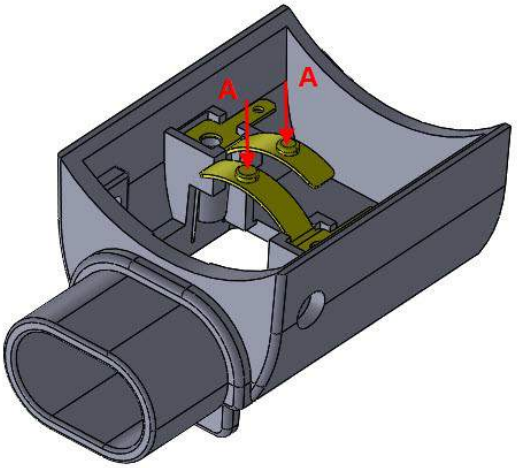


Şekil 5. Yeni tasarımın a) kontak montajsız b) kontak montajlı ve c) kontak montajlın üst görünüşü



Şekil 6. Yeni tasarımın Draft analizi

Operatörün montaj işleminden sonra kontakların B ölçüsünde azalmalar olabilmektedir. Bu boyut küçülmeleri farklı zamanlarda üretimden alınan 10 adet numunede ortalama 0,63 mm fark olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 2).



Şekil 7. Operatör tarafından kuvvet uygulanan yerler

Çizelge 2 Parçanın montaj hata analizi

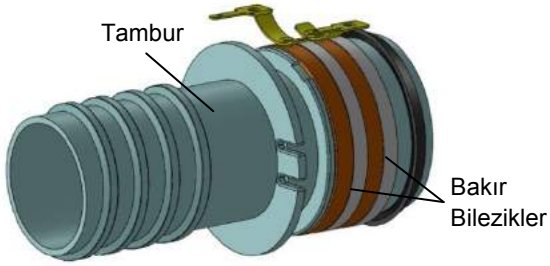
Numune Adedi	İstenilen B ölçüsü [mm]	Montajdan sonra B ölçüsü [mm]	Derinlik Farkı [mm]
1	8	7,50	0,50
2	8	7,55	0,45
3	8	7,30	0,70
4	8	7,15	0,85
5	8	7,25	0,75
6	8	7,60	0,40
7	8	7,35	0,65
8	8	7,60	0,40
9	8	7,20	0,80
10	8	7,15	0,85
Ortalama Fark			0,63

3.2.2. Kontak Üretici Firmadan Kaynaklanan Hatalar

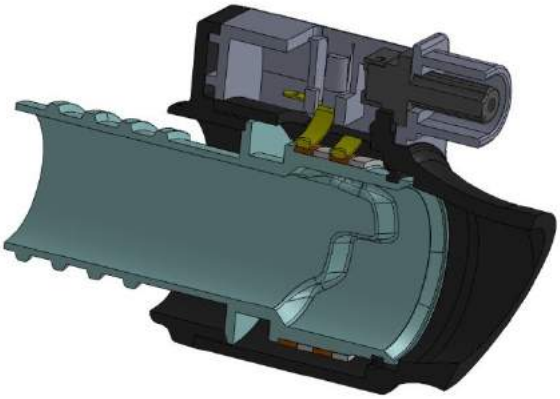
Kontak üretici firmanın imalat aşamasında veya imalattan montaj hattında gelinceye kadar aşamada kontak parçanın derinlik mesafesinde azalmalar da olabilmektedir. Bu azalma montajda alınan örneklerdeki ölçümlerin içerisinde eklendiğinden dolayı üretici firmadan ve taşınmadan kaynaklanan hatalar göz önüne alınmamıştır.

Operatörden kaynaklanan hataları gidermek güç olduğundan dolayı kontakların temas etmiş olduğu bakır bileziklerin çapı ortalama ölçü farklılığın iki katı oranında artırılmıştır. Bu oran çapta 2,52 mm (tek tarafta 0,63 $\times$ 2 = 1,26) artırılarak montajdan kaynaklanan hataları giderilmesi sağlanmıştır (Şekil 8-9).

Çözüm için yapılan iki farklı düzenleme ile ilgili gerekli kalıp tadilatları yapımı tamamlanmış ve bakır bilezik tedarik edilen firmadan çapı artırılmış bilezikler istenmiştir. Bu çözümlerin uygulanmış olduğu yeni bir ürün montajlanmıştır. Tamamlanan ürün üzerinde ölçümler yapılmış olup elektriğin sağlıklı bir şekilde ilettiği voltaj ölçümü ile tespit edilmiştir (Şekil 10).



Şekil 8. Kontakların bakır bilezik üzerinde durumu



Şekil 9. Kontakların kesit görünüşü

Şekil 10. Tetik fiş yatağı yeni tasarımının durumu

4. Çözümüm Ülke Çapındaki Durumu

Tetik fiş yatağında tespit edilen sorunlar çözüldükten sonra Kasım 2013 içerisinde yapılan imalatta yeni tasarlanan tetik fiş yatağı ve çapı artırılmış bakır bilezikler kullanılmaya başlanmıştır. Yeni tasarımın başladığı ürünün seri numarası kayıtları alınmıştır. İyileştirmenin yapılmış olan ürünlerin arıza takibinin yapılması için seri numarası dışında tespit edilmesi için yeni imalatta önlemler alınmıştır. Bunlar fişli kablo renklerinin açık yeşil olarak yapılması, tetik fiş yatağı parçasının içi kısmına kalıpta ayırt edici işaret yapılması, tetik tambur parçası görünmediğinden dolayı farklı renkte yapılması ve tetik gövde parçasında kalıpta ayırt edici işaret yerleştirilmesi çalışmalarıdır. Bunun amacı ürünler elektrik iletimi ile ilgili sorun karşılaşıldığında yeni tasarımda yoksa eski ürünlerde mi olup olmadığı kolay tespit edilmesidir.

Çizelge 3'de Kasım 2013'de imalatı yapılan ürünlerin Aralık 2013'de satışı miktarı ve yeni yapılan tasarımın arıza miktarları verilmiştir.

Çizelge 3 Aralık 2013 satış adedine göre arızalar

Aralık 2013 Tarihinde Satılan Ürünün Satış Adedi ve Kontak Arıza Çizelgesi	Arıza Durumu		Satış Adedi	Arıza Adedi	Arıza Oranı (%)
	1	Adana	165	0	0,0
	2	Ankara	320	2	0,6
	3	Antalya	110	0	0,0
	4	Aydın	52	0	0,0
	5	Balıkesir	105	0	0,0
	6	Bursa	290	1	0,3
	7	Denizli	163	0	0,0
	8	Diyarbakır	36	0	0,0
	9	Erzurum	58	0	0,0
	10	Eskişehir	49	0	0,0
	11	Gaziantep	41	0	0,0
	12	Hatay	46	0	0,0
	13	İstanbul	783	2	0,3
	14	İzmir	179	0	0,0
	15	Kahramanmaraş	60	0	0,0
	16	Kayseri	45	0	0,0
	17	Kocaeli	167	0	0,0
	18	Konya	60	0	0,0
	19	Malatya	70	0	0,0
	20	Manisa	38	0	0,0
	21	Mardin	48	0	0,0
	22	Mersin	203	1	0,5
	23	Muğla	71	0	0,0
	24	Ordu	38	0	0,0
	25	Sakarya	81	0	0,0
	26	Samsun	103	0	0,0
	27	Şanlıurfa	65	0	0,0
	28	Tekirdağ	45	0	0,0
	29	Trabzon	80	0	0,0
	30	Van	42	0	0,0
	31	Diğer İller	1020	3	0,3
		Toplam	4633	9	0,2

Yeni tasarlanan fiş yatağı ve bakır bilezikte yapılan düzenleme sonrası arıza oranın %0,2 olduğu gözlenmiştir. Yapılan incelemelerde Aralık 2013'de satılan ürünlerde dokuz adet elektrik iletimi ile ilgi arıza tespit edilmiştir. İlgili arızaların nedenleri incelendiğinde, beş adet problemin elektrik hortumlarındaki kablolarda ve fişli kablonun kablolarında kırılmalardan dolayı arızaların olduğu tespit edilmiştir. Dört adet problemin ise tetik fiş yatağındaki kontaklardan olduğu tespit edilmiştir. Bu arıza miktarı kabul edilebilir seviyededir.

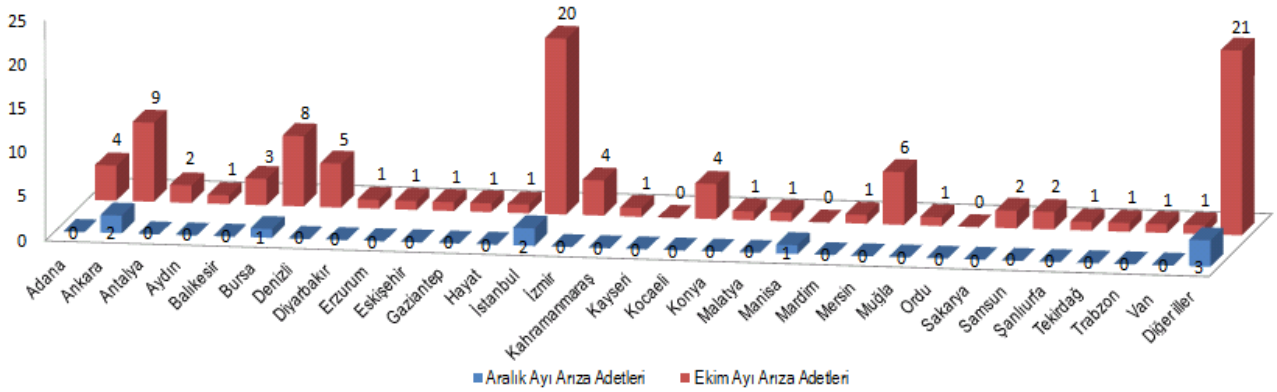
5. Sonuç

Bu çalışmada elektrikli ev aletlerinde kullanılan kendi etrafında dönen bir elektrikli hortumun bir kontaklar vasıtasıyla doğrusal olarak başka kabloya aktarılmasında kullanılan parçaların elektriği iletmesi esnasında yaşanan problemler ele alınmıştır. Bu problemleri ülke genelinde bir ürün üzerinde arıza durumu tespiti yapılmıştır. Üründe arıza oluşmasında neden olan sorunlar tespit edilip ayrı

ayrı olarak sorunlara sistematik yaklaşılarak çözümler sunulmuştur.

- İlk olarak tetik fiş yatağında kontak parçasının montaj yapılırken veya kullanım sırasında kontakların dönerek bakır bilezik ile teması kesilerek elektriği iletmeme sorunu tespit edilmiştir. İlgili sorunu çözmek için kontak yapısına uygun olarak tetik fiş yatağı yeniden tasarlanmıştır.
- İkinci olarak kontakların derinlik mesafelerinde oluşan azalmalardan kaynaklanan elektrik geçişinin kesilme sorunu tespit edilmiştir. Bu sorunu çözmek amacıyla kontakların derinlik mesafesinin değişmesi nedenleri araştırılmış, kontak üzerinde yapılan ölçümlerde derinlik mesafesindeki azalmanın montaj sırasında olduğu tespit edilmiştir.
- İmalattan farklı zamanlarda ve günlerde alınan numunelerde yapılan ölçümlerde bu mesafenin ortalama 0,63 mm olduğu tespit edilmiştir. Sistemi garanti altına almak amacıyla bakır bileziğin çapını 2,52 mm (tek taraftan 1,26 mm) artırılmıştır.

Yeni tasarımın Kasım 2013'de üretim yapılmış ve Aralık 2013'de satışları yapılmıştır. Ocak 2014'de ayı içerisinde arıza adet rakamları belli olmaya başlamıştır. Alınan verilere göre yeni tasarımın ve iyileştirmelerin arıza oranların azalmasına netice verdiği görülmüştür. Aralık ayı satış adetleri %40 oranında yükselirken yapılan iyileştirmelerle Şekil 11'de görüldüğü üzere Aralık ayındaki arıza adetlerinin %91,5 oranında düşmüştür. Arıza oranların düşmesiyle ürün kalitesi artmış, bu ise müşterinin ürüne olan güven duygusunun artmasına, servis maliyetlerinin düşmesine ve kar oranlarının yükselmesine netice vermiştir.



Şekil 11. Ekim ve Aralık 2013 Arıza Adetleri

Kaynaklar

[1] Şafak, Ş., Terzioğlu, R.G., Kadınların Ev işleri Yapmada İş Kolaylaştırıcı Yöntemlerin Kullanıma Durumların İncelenmesi, Ev Ekonomisi Dergisi, sayı 5, 2-3, 16-17, 1987.

[2] IEC 60312-1 Vacuum cleaners for household use – Dry vacuum cleaner- Methods for measuring the performance, September 2010.

[3] Erel, S., Evde Kullanılan Araç Gereçler, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, H.Ü. Basımevi, Ankara, 1978.

[4] Peet, L.J., Picket. S.P., Arnold, M.G., Household Equipment, John Wiley Sons Inc., New York, 1979.

[5] Anonymous; The Vacuum Cleaner, http://www.quido.cz/objevy/vysavac.htm (Erişim: Şubat 2014)

[6] Şahin, H., Erkal, S., Elektrik Süpürge Satın Alırken ve Kullanırken Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar, Gazi üniversitesi Endüstriyel Sanatsal Eğitim Fakültesi Dergisi, sayı 22, 70-75, 2008.

[7] Gologlu, C., Mizrak, C., An integrated fuzzy logic approach tp customer-oriented product design, Journal of Engineering Design, 22:2, 113-127, 2013.

[8] Komninos, I., Product Life Cycle Management, Technical Report, Urban and Regional Innovation Research Unit Faculty of Engineering Aristotle, University of Thessaloniki, 2002.

[9] Vonderembse, M.A., Uppal, M., Huang, S.H., Dismukesd, J.P., Designing Supply Chains: Towards Theory Development, Int. J. Production Economics, 100, 223–238, 2005.

[10] Tekin, M., Üretim Yönetimi, 5. Baskı, Eğitim Kitabevi, Ankara, 2004.

[11] TS EN 60335-1 Güvenlik Kuralları – Ev ve Benzeri Yerlerde Kullanılan Elektrikli Cihazlar İçin, Türk Standartları Enstitüsü, Aralık 2012.

KALİTE FONKSİYON YAYILIMI (KFY) İLE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİ

A PRODUCT DEVELOPMENT PROCESS BY USING QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT (QFD)

Cevdet GÖLOĞLU [a] ve Beytullah AYDOĞAN [b]
[a, b] Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 78050 Karabük, Türkiye
E-posta: cgologlu@karabuk.edu.tr, baydogan@live.com

Özet

Günümüz rekabet piyasasında ürünlerin varlıklarını sürdürebilmesi ve ürünlerin rakip şirket ürünlerinden bir adım öne çıkabilmesi için ürün geliştirme önem arz etmektedir. Ürün geliştirme kapsamında, müşteri şikâyet ve istekleri dikkate alan, planlanan kalite değerlerine ulaşmak için belirli bir sistematik gerektiren Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ve Kalite Evi (KE) yöntemi kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında piyasada yeni bir ürün olan ve pazar payını gün geçtikçe arttıran Akıllı Papas (Magic Mob) ürününün KFY kullanarak geliştirilmesi amaçlanmıştır ve KFY yöntemi ile su haznesinin kolay temizlenmesi için tasarım iyileştirmesi gerçekleştirilmiştir. Ürüne kazandırılan tasarım unsurlarının müşteri üzerinde olumlu etkilerinin olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ürün geliştirme, Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), Kalite Evi (KE).

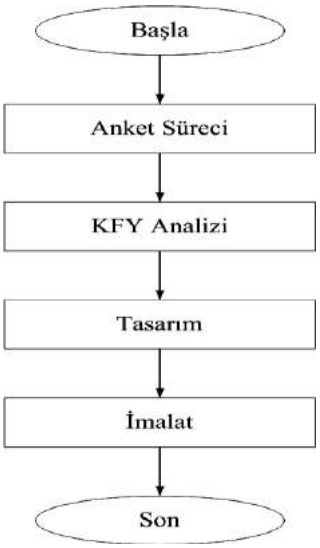
Abstract

Product development is an important process in which a product can survive in today's rival market and it becomes frontier among products of competitor companies. Quality Function Deployment (QFD) and House Of Quality (HOQ) which comprise a systematic in order to achieve planned quality values by taking customer complaints and requests into consideration within product development. In the study development of Magic Mob product, which is new product in market and its market share increases day by day, is aimed by using QFD method and design improvements in cleaning of water container is realised by the method. Design features introduced to the product are thought to be positive effects on customer.

Key words: Product development, Quality Function Deployment (QFD), House Of Quality (HOQ).

1. Giriş

Müşterilerin kaliteli ürünü uygun fiyat ile talepleri ve şirketlerin pazara sundukları ürünlerdeki özellikler rekabet ortamını güçlü kılmıştır. Böyle bir ortamda şirketlerin ayakta kalabilmeleri ve mevcut pazar koşullarına ayak uydurabilmeleri, söz konusu gereksinimlerin karşılanması ile hedeflenen tüketici memnuniyet seviyesini yakalayabilmelerine bağlıdır [1-2]. Hedeflenen müşteri memnuniyetine ulaşmak ve ürün geliştirme için birden çok yöntem vardır. Bu yöntemlerden biri olan Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) veya Kalite Evi (KE)'nin kullanıldığı süreç Şekil 1'de gösterilmiştir. KE fonksiyonlar arası planlama ve iletişimi sağlayan bir tür kavramsal haritadır [3-4]. KFY'nda farklı sorunlar, farklı sorumluluklara sahip kişiler tarafından KE çatısının altındaki bilgi motiflerinden tasarım önceliklerini kolayca belirleyebilirler. Bu bakımdan, KFY'yi farklı yapan, çözümlemenin müşteri ihtiyaçları temelinde gerçekleştirilmesidir. Kilit müşteri ihtiyaçlarına, bu ihtiyaçların önceliklerine, daha iyi belgelendirme ve işlem esnasındaki iletişime ağırlık verilmesiyle, özellikle hassas noktalar üzerinde yeniden tasarım ihtiyacını ortadan kaldırmaktadır [4-5].



Şekil 1. KFY'nin ürün geliştirme yöntemindeki yeri

Mohamad ve Yusoff [6], KFY kullanarak "Kullan-At" plastik bardağı üzerinde ürün geliştirme yapmışlardır. Bardak tasarımı üzerinde yaptıkları değişikliklerle şeker ve krema karıştırılmasını kolaylaştırmışlar ve bardağın kolay tutulabilirliğini geliştirmişlerdir. Göloğlu ve Sezeroğlu [2], KFY kullanarak tel zımba makinesinin ürün geliştirme işlemini ayrıntılı olarak incelemişlerdir. KFY ile ürünün rekabetçi piyasadaki baskın teknik özelliklerini göz önüne sermişlerdir. Pur ve Tabriz [7], Bulanık Mantık sorgulama tümleşikli KFY'de SWOT analizi kullanışlardır. Çalışmalarında Petrokaran Film şirketinin stratejik formülasyonunu ortaya çıkarmışlardır. Göloğlu ve Çetin [8], Excel ve Visual Basic kullanarak bir KE Sihirbazı geliştirmişlerdir. Bu sihirbazla kalite evini oluşturmakta yaşanan hatalar en aza indirgemişlerdir. Yaptıkları çalışmayı düdüklü tencere kapağı örneği üzerine uygulamışlar ve başarılı sonuç elde etmişlerdir. Na vd. [9], güç kaynağı hizmet kalitesini arttırmak amacıyla KFY kullanmışlardır. KFY sayesinde, hizmet kademelerinin

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

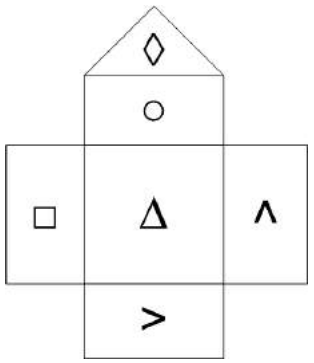
arasından hangi aşamanın öncelikli olarak geliştirilmesi gerektiğini öngörmüşlerdir. KFY'nin yöneticilerin karar almasını kolaylaştırdığını vurgulamışlardır.

Bu çalışmada ise, KFY kullanılarak piyasaya oldukça kısa bir zaman önce giren "Akıllı Paspas" (Magic Mob) ürününün müşteri istekleri doğrultusunda, imalata uygun ve ekonomik bir şekilde geliştirilmesi hedeflenmektedir. Akıllı paspas temizlik alanında, ofislerde, çalışma alanlarında ve genellikle evlerde kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir endüstriyel ürün olduğundan dolayı gün geçtikçe normal paspasların yerini almaktadır. Genel itibariyle ev hanımları ve temizlik görevlileri tarafından kullanılan bu ürün geliştirilmesi önem arz etmektedir. Bu kapsamda ürünü kullanan müşterilerin istek ve şikâyetleri anket uygulaması yapılarak belirlenmiştir. Bu istekleri yerine getirmek için gerekli teknik özellikler KFY takımı tarafından belirlenmiş ve bu özelliklerin müşteri istekleri ile etkileşimi tayin edilmiştir. Yapılacak çalışma rakiplerle karşılaştırılıp hedef değerler belirlenmiş ve KE oluşturulmuştur. KE, ilgili KFY takımı tarafından yorumlanmış ve uygun tasarım taslağı elde edilmiştir. Bu çerçevede müşteri istekleri doğrultusunda, imalata uygun ve ekonomik bir şekilde ürün geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Ürün Geliştirmede KFY Uygulaması ve KFY Kademeleri

Günümüz pazar koşullarına uygun ürün tasarımı ve üretimi yapabilmek için sistematik bir çalışma gereklidir [10]. Bu gereksinim KFY'yi ön plana çıkarmaktadır. Bu amaçla ürüne ait müşteri talepleri ve bu talepleri yakından ilgilendiren teknik özellikleri tespit edilmelidir. Bu tespitler müşteri taleplerine yönelik iyileştirme çalışmalarının ilk ve en önemli basamağını oluşturacaktır [2].

Özellikle toplam kalite yönetimine önem veren ve sürekli iyileştirmeyi amaçlayan Kaizen [11] çalışmalarına ağırlık veren bir firma için KFY, ürün tasarımı ve geliştirmede kullanılması gereken vazgeçilmez bir kalite yöntembilimi haline gelmiştir [2]. Bu çalışmaya konu olan "Akıllı Paspas" için yapılan anketler sonucunda müşteri istekleri belirlenmiş, KFY uygulanmış ve etkin gereksinimler belirlenmiştir. Kalite evi genel itibariyle Şekil 2'deki gibi odacıklardan oluşmaktadır. Bu odacıklar üzerinde çalışılan ürün kapsamında sırasıyla doldurulmuştur.



Şekil 2. Kalite evinin temel kısımları

2.1 Müşteri Özelliklerinin Belirlenmesi

Müşterilerin akıllı paspasın kullanımı esnasında karşılaştıkları zorluklar, farklı müşteri taleplerini ortaya çıkarmaktadır. Bu kapsamada KFY ile ürünün kullanım özelliklerini iyileştirilmesi mümkün olacaktır. Bu maksatla müşteri isteklerini belirlemek amacıyla Karabük, İstanbul ve Bursa illerindeki müşterilerle anketler yapılmıştır. Bu anketler kullanılarak müşterilerin genel istekleri belirlenmiştir.

2.2 Müşteri İhtiyaçlarının Belirlenmesi ve Önem Derecelerinin Tespiti

Müşterilere uygulanan anket ve araştırmalar sonuncu müşteri istek ve ihtiyaçları belirlenmiştir. Bu istek ve ihtiyaçlar belirlenirken aşağıdakiler hedeflenerek yapılmıştır [2].

- Ürün maliyet-kullanım açısından hem müşteriyi hem de şirketin memnuniyetini almalıdır,
- Ürünün tasarımı müşterinin ilgisini çekmelidir,
- Pazarda satış-maliyet açısından ilk üç firma arasına girmelidir.

Yapılan pazar araştırması ile elde edilen tüketici istekleri belirlenmiştir. İstekler tüketici memnuniyeti bakımından önem dereceleri 1 ile 5 arasında değişen puanlamaya tabi tutulmuştur. Bu şekilde Kalite Evi'nin "□" odacığı doldurulmuştur.

2.3 Müşteri Memnuniyet Seviyesinin Analizi

Yapılan araştırmalar sonucunda belirlenen müşteri isteklerinin, kendi şirketimiz ve diğer şirketler tarafından ne kadar sağlandığını anlamak amacıyla analize tabi tutulmaktadır. Bu analiz sayesinde kendi şirketimiz ile diğer şirketleri mukayese edebilecek hale gelinecektir. Analiz, ürünü (rakip şirket ürünü veya geliştirilmeye tabi olan ürün) kullanan kişilerin görüşleri alınarak yapılmıştır. Bu görüşler aynı önem derecesinde yapıldığı gibi 1 ile 5 arasında puan verilmiştir. Bu puanlama anketlerden alınan görüşlerin sonuçlarına göredir. Bütün şirketler için aynı puanlama yapılmıştır.

Müşterilerin şirketler hakkında görüşleri anlaşıldıktan sonra bu değerlere Planlanan Kalite (*PK*) değeri KE'ne eklenecektir. Bu değer KFY uygulanacak ürünün, KFY uygulaması sonrası hedeflenen müşteri memnuniyetidir. Diğer memnuniyet dağılımında olduğu gibi burada da puanlama 1 ile 5 arasında yapılmıştır. *PK*'nın KFY Çalışması Yapan Şirket Memnuniyeti'ne (*ÇYŞM*) bölünmesiyle İyileştirme Oranı (*İO*) elde edilmiştir (Denklem (1)). Bu oran müşteri isteklerinin her biri için ayrı ayrı hesaplanmıştır [2].

$$İO = \frac{PK}{KFY\ ÇYŞM} \quad (1)$$

$$i = Müşteri\ isteği\ (Kolay\ Temizlensin)$$

$$İO_i = \frac{5}{4} = 1{,}25$$

İyileştirme oranını elde edilmesinden sonra her bir satırın Mutlak Ağırlığı (*MA*) hesaplanmıştır. Hesaplama satırdaki

Önem Derecesi (*ÖD*), İyileştirme Oranı ve Satış Avantajı'nın (*SA*) çarpımı ile elde edilmiştir (Denklem (2)). Buradaki Satış Avantajı 1 - 1,2 - 1,5 olarak alınarak ilgili satırın (müşteri istekleri) mutlak ağırlığı hesaplanmıştır. Mutlak ağırlıklar kullanılarak da Bağıl Ağırlık (*BA*) hesaplanmıştır (Denklem 3). Bu sayede müşteri istekleri mukayese edilebilir hale getirilmiştir.
Bu hesaplamalar aşağıdaki gibi yapılmıştır.

$$MA_i = \ddot{O}D_i \times \dot{I}O_i \times SA_i \quad (2)$$

$$MA_i = 5 \times 1{,}25 \times 1{,}5 = 9{,}4$$

$$BA_i(\%) = \frac{Satırın\ MA_i}{Toplam\ ağırlık} \times 100 \quad (3)$$

$$BA_i(\%) = \frac{9{,}4}{48{,}65} \times 100 = \%19{,}3$$

Elde edilen anket sonuçları ve hesaplamalar Kalite Evi'nin "^" odacığını dolduracaktır (Şekil 4).

		Önem Derecesi	KFY Uygulayan Şirket Memnuniyeti	A- Şirketi Memnuniyeti	B- Şirketi Memnuniyeti	C- Şirketi Memnuniyeti	Planlanan Kalite	İyileştirme Oranı	Satış Avantajı	Mutlak Ağırlık	Bağıl Ağırlık (%)
Müşteri İstekleri	Temizlik sopası kolay tutulabilsin	4	4	4	4	4	4	1,00	1,0	4,0	8,22
	Sepet kolay temizlenebilsin	5	4	3	4	3	5	1,25	1,5	9,4	19,3
	Sepette bozulacak aksam bulunmasın	5	5	3	4	4	5	1,00	1,2	6,0	12,3
	Temizleme başlığı kolay değiştirilsin	5	4	4	4	4	5	1,25	1,5	9,4	19,3
	Bez temizliği kolay ve hızlı olsun	5	4	3	4	5	5	1,25	1,2	7,5	15,4
	Su haznesi ideal olsun	4	4	4	4	4	4	1,00	1,2	4,8	9,87
	Kolay taşınabilsin	3	3	3	3	3	3	1,00	1,2	3,6	7,40
	Fazla yer kaplamasın	4	4	3	4	4	4	1,00	1,0	4,0	8,22

Şekil 3. Müşteri ihtiyaçlarının önem dereceleri ve memnuniyet seviyesi analizi (□-∧)

2.4 Teknik Özelliklerin Belirlenmesi

KFY'nin "O" odacığını dolduracak olan bu kısım KFY uygulayacak şirketin KFY takımı tarafından belirlenmiştir. Teknik gereksinimlerin müşteri isteklerine cevap verecek şekilde kararlaştırılmıştır. Bunlar tamamen tasarım aşamasında şirketin amaçladığı teknik ölçütlerdir. Belirlenen ölçütler aşağıdaki gibidir.

Sepet Ağırlığı (N)
Üründe kullanılan malzeme ile oluşan sepet ağırlığıdır.

Sepet Malzemesi Çekme Dayanımı (N/mm^2)
Üründe kullanılan plastik malzemeye ait mukavemet değeridir. Ürünün ömrünü ve çalışma esnasındaki dayanımını etkiyen bir teknik etkendir.

Sepet Su Hacmi (lt)
Sepet tasarımı ile ilişkilidir. Gerekli su hacmine bağlı olarak tasarım gerçekleştirilecektir. Müşteri istekleri göz önünde bulundurularak yapılacak olan bu tasarım uygun değerde su hacmine sahip olması gerekmektedir. Maliyet ve müşteri isteklerini etkileyen önemli bir teknik unsurdur. Su alım hacmi, dönen aksama ulaşacak maksimum miktar alınmıştır.

Sıkma Esnasında Uygulanan Kuvvet (N)
Ürünün paspas bezinin sıkılması esnasında helisel kanal yardımı ile döndürülmektedir. Bu döndürme işini gerçekleştirmek için gerekli kuvveti temsil eder. Bu kuvvet müşteri memnuniyetini etkileyen parametrelerdendir.

Temizlik Kolaylık Katsayısı (tk)
Ürünün temizliğinin kolaylığını bir derecesidir. 1 ile 5 arasında puanlama ile gösterilmiştir. Temizliği zor ise 1 en kolay temizlenen ise 5 puan verilmiştir ve aşağıdaki esaslar göz önünde bulundurulmuştur (Çizelge 1).

Çizelge 1 Temizlik kolaylık katsayısı puanlandırma çizelgesi

Puan	Değerlendirme
1	Sepet temizliği zor
2	Dönen aksam temizlenmiyor
3	Sepet temizliği kolay ama dönüm esnasında sıçratmalar yapıyor
4	Dönen aksam yeteri kadar temizlenemiyor
5	Dönen aksam ve sepet kolay temizleniyor

2.5 Teknik İhtiyaçlar ile Tüketici İstekleri Arasındaki İlişki

Yapılan araştırmalar ve anketler sonucunda belirlenen teknik özellikler ve müşteri istekleri arasındaki ilişkilendirme KE'nin "Δ" odacığında yapılmıştır. Bu ilişkilendirme; Zayıf ilişki 1, Orta ilişki 3, Kuvvetli ilişki 9 puanları verilerek yapılmıştır. Boş bırakılan yerler ilişki olmadığı anlamına gelmektedir (Şekil 4).

Teknik ihtiyaçların ilişkilendirilmesi yapıldıktan sonra mutlak ve bağıl önemleri hesaplanmıştır (Denklem (4)-(5)). Bu şeklide teknik özelliklerde yapılacak değişiklerin birbirleri arasındaki etkileşimleri görülecektir. Gerekli hesaplamalar ve puanlamalar yapılarak Şekil 4 oluşturulmuştur.

$$j = Teknik\ Özellik\ (Sepet\ Su\ Hacmi)$$

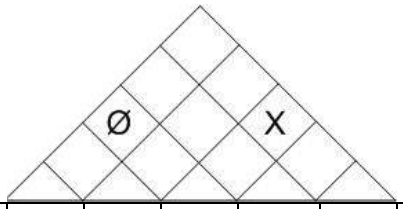
$$M\ddot{O}_j = \sum(MA_{ij} \times İlişkinin\ Gücü_i) \quad (4)$$

$$M\ddot{o}_j = 9{,}4 \times 3 + 6 \times 1 + 7{,}5 \times 9 + 4{,}8 \times 9 + 3{,}6 \times 9 + 4 \times 9 = 213{,}225$$

$$B\ddot{O}(\%) = G_j = \frac{M\ddot{O}_j}{Toplam\ M\ddot{O}} \times 100 \quad (5)$$

$$G_j = \frac{213{,}225}{619{,}9} \times 100 = \%34{,}4$$

XX : Kuvvetli olumlu ilişki
X : Zayıf olumlu ilişki
Ø : Kuvvetli olumsuz ilişki
O : Zayıf olumsuz ilişki



	Teknik İhtiyaçlar	Sepet Ağırlığı	Sepet Malzemesi Çekme Dayanımı	Sepet Su Hacmi	Sıkma Esnasında Uygulanan Kuvvet	Temizlenme Kolaylık Katsayısı	Mutlak Ağırlık
Müşteri İstekleri	Sapı kolay tutulabilsin				1		4,0
	Sepet kolay temizlenebilsin			3		9	9,4
	Sepette bozulacak aksam bulunmasın	3	9		1	3	6,0
	Temizleme başlığı kolay değiştirilsin						9,4
	Bez temizliği kolay ve hızlı olsun		1	9	3	9	7,5
	Su haznesi ideal olsun	9	3	9			4,8
	Kolay taşınabilsin	9	3	9			3,6
	Fazla yer kaplamasın	3	3	9			4,0
Mutlak Önem		105,6	98,7	213,2	32,5	169,9	
Bağıl Önem		17	15,9	34,4	5,2	27,4	
Rekabete Yönelik Teknik Analizler	KFY Uygulayan Şirket	1,3	30	6	10	3	
	A Şirketi	1,4	27	6	12	3	
	B Şirketi	1,5	35	6,5	13	4	
	C Şirketi	1,5	30	8	15	4	
	Hedef Değerler	1	30-35	7	10	5	
	Birimler	*kg*	*N/mm²*	*lt*	*N*	*tk*	

Şekil 4. Teknik ihtiyaçlar (O), müşteri istekleri ile teknik özellikler arasındaki ilişki (Δ), teknik özellikler arasındaki ilişki (◊), rakiplerle karşılaştırma ve hedeflerin belirlenmesi (>)

2.6 Teknik İhtiyaçlar Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Teknik özellikler kendi aralarında bir dizi karşılaştırılmaya tabi tutulur. Bu şekilde teknik özelliklerde yapılacak bir değişik birbirlerini nasıl etkileyeceği görülmüştür (Şekil 4).

2.7 Rakiplerle Karşılaştırma ve Hedeflerin Belirlenmesi

Şirketlerin piyasa şartlarında tutunabilmesi için rakiplerinden bir adım önde olmaları şirketleri avantajlı kılmaktadır. Bu da diğer şirketlerle kendi şirketimizi karşılaştırma gereksinimini doğurmaktadır. KE'nin ">" odacığı bu amaçla doldurulmuştur. Müşteriler üzerinde yapılan anketler sonucunda müşterilerin rakip şirketler hakkında düşünceleri belirlenmiş ve şirketlere ait teknik özellikler belirlenmiştir. İyileştirme yönünü tayin etmek için hedef değerler belirlenmiştir. Bu belirleme işlemi ürün ile ilgili farlı tasarımlar ve imalat yöntemleri denenmiş ve farklı özelliklerdeki ürünler hakkında müşteri tepkileri ölçülerek belirlenmiştir (Şekil 4).

2.8 Kalite Evinin Oluşturulması

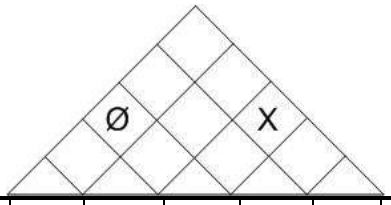
Oluşturulan tüm matrisler bir araya toplanarak KE oluşturulmuştur (Şekil 5).

2.9 Kalite Evinin Yorumlanması

KE'nin oluşturulmasıyla, ürün kalitesini arttırmak ve müşteri memnuniyetini arttırmak için dikkat edilecek teknik özellikler hususlar ortaya çıkarılmıştır. Bunları şu şekilde sıralanmıştır;

- Sepet su hacmi %34,4
- Temizleme kolaylık katsayısı, %27,4
- Sepet ağırlığı, %17,0
- Sepet malzemesi akma sınırı, %15,9
- Sıkma esnasında uygulanan kuvvet, %5,2

Sıralamaya göre %34,4 ile 1.sıra önem arz eden teknik özellik "Sepet su hacmi" olmaktadır. Hedef değeri ile mukayese edildiğinde arttırılması gerektiği gözükmektedir. Bununla beraber % 15,9 ile 3.sıra önem derecesine sahip olan "Sepet ağırlığının" düşürülmesi gerektiği görülmektedir. Sepet su hacminin arttırılması sepet ağırlığını arttıracağından dolayı bu teknik özellik üzerinde değişiklik yapılması uygun görülmemiştir. %27,4 ile 2.sıra önem derecesine sahip olan teknik özellik "Temizleme kolaylık katsayısı" olarak görülmüştür. Ürün geliştirmeye yönelik yapılacak çalışmalarda baskın özellik olarak ortaya çıkmıştır.



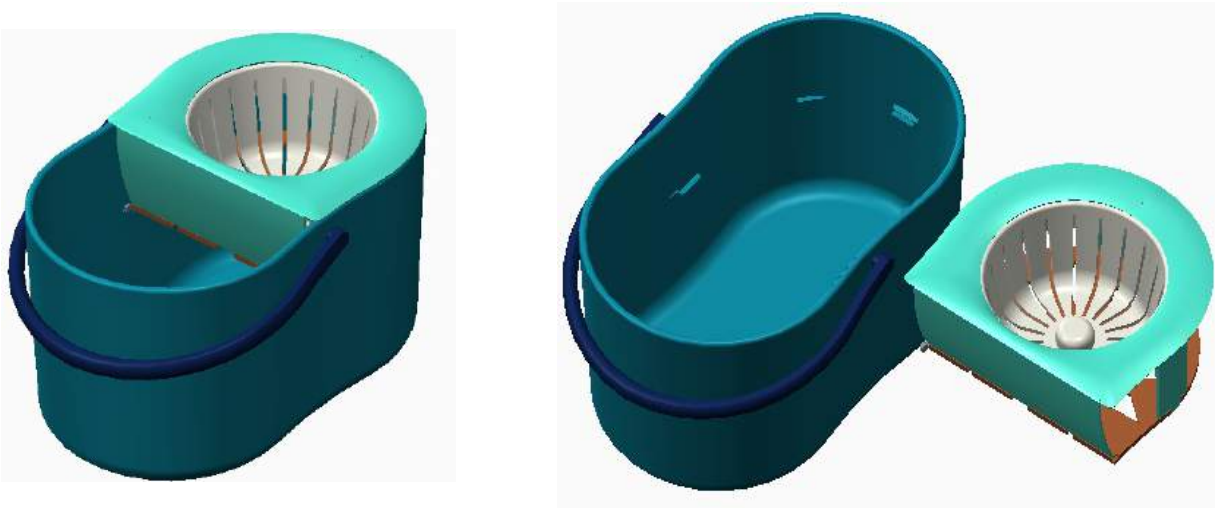
		Önem Derecesi	Sepet Ağırlığı	Sepet Malzemesi Akam Sınırı	Sepet Su Hacmi	Sıkma Esnasında Uygulanan Kuvvet	Temizlenme Kolaylık Katsayısı	KFY Uygulayan Şirket	A- Şirketi Memnuniyeti	B- Şirketi Memnuniyeti	C- Şirketi Memnuniyeti	Planlanan Kalite	İyileştirme Oranı	Satış Avantajı	Mutlak Ağırlık	Bağıl Ağırlık (%)
Müşteri İstekleri	Sapı kolay tutulabilsin	4				1		4	4	4	4	4	1	1	4	8,22
	Sepet kolay temizlenebilsin	5			3		9	4	3	4	3	5	1,25	1,5	9,4	19,3
	Sepette bozulacak aksam bulunmasın	5	3	9		1	3	5	3	4	4	5	1	1,2	6	12,3
	Temizleme başlığı kolay değiştirilsin	5						4	4	4	4	5	1,25	1,5	9,4	19,3
	Bez temizliği kolay ve hızlı olsun	5		1	9	3	9	4	3	4	5	5	1,25	1,2	7,5	15,4
	Su haznesi ideal olsun	4	9	3	9			4	4	4	4	4	1	1,2	4,8	9,87
	Kolay taşınabilsin	3	9	3	9			3	3	3	3	3	1	1,2	3,6	7,4
	Fazla yer kaplamasın	4	3	3	9			4	3	4	4	4	1	1	4	8,22
Mutlak Önem			105,6	98,7	213,2	32,5	169,9									
Bağıl Önem (%)			17	15,9	34,4	5,2	27,4									
Rekabete Yönelik Teknik Değerlendirme	Gelişmenin Yönü		▼	0	▲	0	▲									
Teknik Veriler	KFY Uygulayan		1,3	30	6	10	3									
	A Şirketi		1,4	27	6	12	3									
	B Şirketi		1,5	35	6,5	13	4									
	C Şirketi		1,5	30	8	15	4									
Hedef Değer			1-1,2	30	7	10	5									
Ölçü Birimi			*kg*	*N/mm²*	*lt*	*N*	*tk*									

XX Kuvvetli olumlu ilişki
X Zayıf olumlu ilişki
Ø Kuvvetli olumsuz ilişki
O Zayıf olumsuz ilişki
▲ Değer yukarı yönde geliştirilecek
▼ Değer yukarı yönde geliştirilecek
0 Değer üzerinde geliştirmeye ihtiyaç yoktur

Şekil 5. Akıllı Paspas için oluşturulmuş KE

3. Sonuç

Günümüz rekabetçi piyasasında hayatta kalabilmek ve rakip şirketlerden bir adım önde olabilmek için ürün gelişmek ciddi bir önem arz etmektedir. Bu kapsamda kullanılan KFY ile KE oluşturulmuştur. Son kısımda yer alan yorumlarda Akıllı Paspas ürününün temizlenme kolaylığının arttırılmasının uygun olduğu görülmektedir. Ürünün bu özelliğini geliştirmek için tasarım gerçekleştirilmiştir. Yapılan tasarımda dönen aksam üzerine sıçramayı önlemek için bir muhafaza tasarlanmıştır. Ayrıca temizliği kolaylaştırmak amacıyla dönen aksam ve muhafazası sepet üzerine sökülebilir bir yapıda tasarlanmıştır. Bu sayede dönen aksam ve muhafazası çıkartılıp temizliği kolaylıkla yapılabilir hale getirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. KFY uygulanan Akıllı Paspas

Kaynaklar

[1] Kusiak, A., “Concurrent engineering automation, tools and techniques”, Wiley-Interscience, USA.,1992.

[2] Göloğlu C. ve Sezeroğlu A., “Endüstriyel Ürün Geliştirmede Kalite Fonksiyon Yayılımı Uygulaması”,Teknoloji, 10(1), 49-59, 2007.

[3] Hauser, J.R. and Clausing, D., “The house of quality”, Harvard Business Review, 3, 63-73, 1988.

[4] Güllü, E. ve Ulcay, Y., “Kalite fonksiyonu yayılımı ve bir uygulama”, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1), 71-92, 2002.

[5] Cengiz, Y.B., Yayla, Y. “Rekabet Üstünlüğü için Modern Yaklaşımlar”, TÜSİAD-KALDER 6. Ulusal Kalite Kongresi- Tebliğler ve Özgeçmişler, İstanbul, S.151-158, 1997.

[6] Mohamad S. M. ve Yusoff A. R., "Improvement of Take-Away Water Cup Design by Using Concurrent Engineering Approach" Procedia Engineering 53(1), 536 – 541, 2013.

[7] Pur M. M. ve Tabriz A. A.,"SWOT Analysis using of Modified Fuzzy QFD – A Case Study for Strategy Formulation in Petrokaran Film Factory" Procedia - Social and Behavioral Sciences 41, 322 – 333, 2012.

[8] Göloğlu, C., Çetin, C., "Kalite Evi Sihirbazı Geliştirme ve Bir Endüstriyel Uygulama", Teknoloji, Cilt 11(4), 253-265, 2008.

[9] Na L., Xiaofei S., Yang W. ve Ming Z., "Decision Making Model Based on QFD Method for Power Utility Service Improvement" Systems Engineering Procedia 4, 243 – 251, 2012.

[10] Gölоglu, C., “Ürün tasarım sürecinde eşzamanlılık ve bir imalat için tasarım sistemi”, 4th International Advanced Technologies Symposium, Konya, 591-596, September 28–30, 2005.

[11] Akao, Y., “General concept of quality function deployment (QFD)”, Arçelik A.S., Türkiye, 1999.

OTOBÜS TAVAN HAVALANDIRMA VE AYDINLATMA ÜNİTESİNİN SİSTEMATİK TASARIMI

SYSTEMATIC DESIGN OF COACH CEILING VETILATION AND LIGHTING UNIT

Cevdet GÖLOĞLU [a], İbrahim ÖZYİĞİT [b]
[a, b] Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 78050 Karabük / Türkiye
E-posta: cgologlu@karabuk.edu.tr; imozyigit@gmail.com

Özet

Endüstri ürünleri tasarımı, müşterinin ihtiyacına ve problemlerine göre estetik, işlevsel ve faydalı ürünler tasarlama işidir. Makalede bilgisayar ortamında otobüs tavan havalandırma üniteleri için özgün eskizler çizilmiş ve bunlar kavramsal değerlendirmeleri yapılarak en iyi ürünün geliştirme aşamaları verilmiştir. Ergonomik ve işlevsel açıdan iyileştirmeler sunan tavan havalandırma ve aydınlatma modülünün tasarımı tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kavramsal tasarım, havalandırma, aydınlatma, yolcu otobüsü

Abstract

Industrial product design deals with designing aesthetic, functional and useful products based on customer needs and their problems. In the paper, hand drawings made on computer environment for the original coach ceiling ventilation units are conceptually evaluated and product development stages are given. The design of a ceiling ventilation and lighting unit is completed by means of the improvements based on ergonomics and functional requirements.

Keywords: Conceptual design, ventilation, lighting, coach

1. Giriş

Tasarım, görsellik ve estetikten kopmadan gereksinimleri karşılamak amacıyla ilgili alan bilgisini kullanarak teknik, ergonomik ve ekonomik gibi hususları en iyi verimle gerçekleştirmek amacıyla yapılan akli bir teşebbüstür [1]. Tasarım aynı zamanda insan yaşamına etki eden disiplinlerden etkilenen bir mühendislik branşıdır. Bunun ötesinde sistematik bakımdan tasarım, belirlenen sınırlar çerçevesinden çıkmadan istenilen sonuca ulaşmanın en iyi yoludur [2]. Tasarım doğrudan müşteri ile ilişkilidir. Tasarım müşteri ihtiyaçları ve sorunları öncelik verilerek yapılır. Müşteri odaklı bir tasarım yapmak için şu adımlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Müşteri temel isteklerinin saptanması,
- Müşteri tarafından dile getirilen hiç bir şeyin göz ardı edilmemesi,
- Düşüncelerin gerektiği ölçülerde kısaltılması ve birleştirilmesi,
- Müşteri geri dönüşünün dikkate alınması gerekmektedir [3].

Taşıt, mekanik karmaşıklığının yanı sıra işlevsel karmaşıklığı da içinde barındıran bir üründür. Bu karmaşıklık, sürücü çevresinin tasarımında incelenebilmektedir. Sürücünün yanı sıra başka kullanıcıları da gözetmek gerekmektedir. Bu da tasarımı bambaşka boyutlara taşımaktadır. Taşıtın iç mekanının oluşturulmasında işlevsellik ve kullanıcı beklentileri önemli bir rol oynamaktadır. Dolayısı ile yalnız mekanik açıdan değil görsellik, işlevsellik açılarından da sistematik bir yaklaşım olmak zorundadır. Bu sistematik yaklaşımın ürünün her yerinde bütünlüğünü ve özgünlüğünü koruması gerekmektedir ve ancak böyle bir üründe başarıdan söz edilebilir. Bu özellikler yalnız taşıtların genel hatlarında değil tüm otomotiv ürünlerinde geçerlidir [4].

Günümüzde insanların seyahatlerinde tercih ettikleri araçların bir tanesi de otobüslerdir. Onlarca insanın saatlerce süren seyahatlerinde otobüs klimasının rahat bir ortam havası oluşturması gerekmektedir. Otobüs klimaları bu amaca yönelik standart bir donanımdır. Uygun ortam havasının otobüs içine aktarılması otobüs tavan havalandırma üniteleri ile sağlanmaktadır [5].

Genellikle otobüsün tavanında bulunan havalandırma üniteler bagaj koyma yerinin altından geçen havalandırma kanallarıyla havalandırmayı, elektrik bağlantılarıyla da ışık, servis isteği gibi ihtiyaçları karşılamaktadır. Bazı firmalar geleneksel yoldan çıkarak değişik tasarımlar denese de bunlar kullananlar açısından karmaşıklığa yol açmıştır. Hatta bazı modellerde havalandırma yolcu isteğine bağlı olmadan çalışarak yolcunun istemediği zamanlarda kendine doğru soğuk veya sıcak havayı kesememesine, dolaylı olarak da rahatsızlığına yol açmaktadır.

Bu makalede hedeflenen müşteri isteğine en uygun ve akla en yatkın olan ürünün seçilerek tasarım süreçlerinin gösterilmesidir. Tasarım hem üretim hem de kullanıcı açısından kolay ve anlaşılabilir özelliklerde olmalıdır. Ürünü kullanacak kişinin baktığı anda ne yapmak istiyorsa onu yapması gerekmektedir. Akıl karışıklığına ve kararsızlığa izin verilemez. Böyle bir ürün müşteri açısından iyi ürün olarak kabul edilebilir. Tabi bunu sağlarken maliyet ve elde bulunan olanakları aşmamak gerekmektedir. Bu yüzden şartların en iyisi zorlanarak müşteri açısından iyi bir ürünün tasarlanması faydalı olacaktır.

Tasarımın kolay ve anlaşılabilir olabilmesi için kavramın olabildiğince sade olması gerekmektedir. Müşteri bir ürünü alırken kalite ve fiyat dengesine de dikkat etmektedir. Bu

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

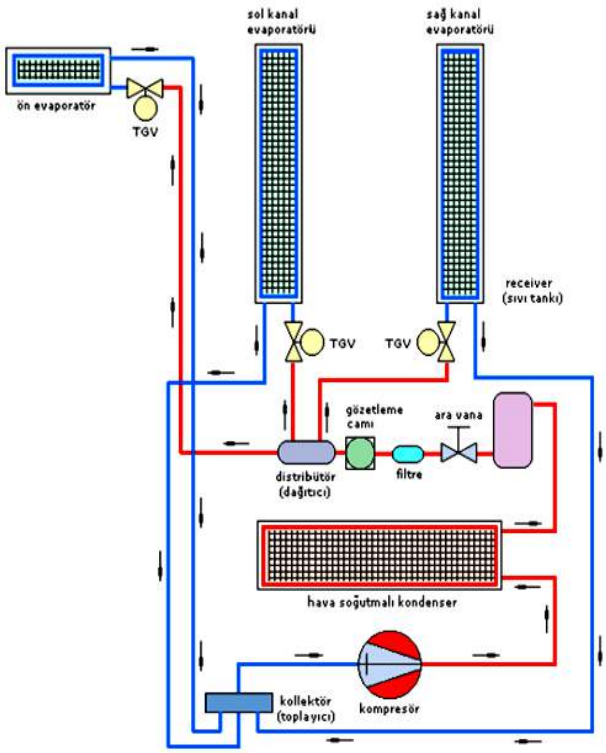
sebeple bir ürün tasarlanırken ve üretimden sonraki satış sürecinde kalite ve fiyat dengesini gözetmek gerekmektedir.

2. Otobüs Havalandırma ve Aydınlatmasının Teknik Özellikleri

Otobüs havalandırma sistemlerinde genellikle soğuk havayı üflemeye yarayan bir menfez, aydınlatma elemanları ve bunların kontrolünü sağlayan düğmeler bulunmaktadır. Düğmeler ışık açma kapama, servis isteği, hoparlör açma kapama gibi işlemleri yerine getirmektedir. Bu özellikler neredeyse tüm otobüslerde standart bir donanım haline gelmiştir.

Otobüs klimaları dolap veya pano tipi çift mono blok üniteli cihazlardır. Hava soğutmalı kondenser aracın üst kısmına ince bir gövde ile sabitlenmektedir. Bu yapısı ile aracın aerodinamik sistemini bozmamış olur. Bu sistemler ayrı bir dizel motorla veya otobüs motorundan direk tahrik edilebilmektedir

Otobüs toplu taşımada kullanıldığı için hacim ve kişi sayısı açısından oldukça küçük olduğundan çok büyük bir klima sistemi ile soğutulması gerekmektedir. Güncel üretilen otobüslerin soğutma sistemlerini üç ayrı evaporatör oluşturmaktadır. Bunlar termostatik genleşme valfi ile kontrol edilmektedir. Şöfor için olan klimanın evaporatoru ön kabinde, yolcular için olan evaporatörler ise sağ ve solda bagajların altında bulunan boşluklardaki hava kanallarına yerleştirilmiştir (Şekil 1). Soğutma devresini tamamlayan hava kanallarda bulunan evaporatörler üzerinden fanlar yardımıyla geçirilir ve kanal üzerindeki menfezlerden iç ortama üflenir. Menfezler üzerinde bulunan damperler sayesinde ise hava girişi kontrol altına alınabilir ve ayarlanabilir.



Şekil 1. Otobüs kliması soğutma devre şeması [5]

Otobüs aydınlatma ve ses sistemi de yine bir aküden aldığı enerjinin bagaj boşluğunun altındaki kanallardan geçen elektrik devresinin aydınlatma modülündeki ses sistemi ve aydınlatma elemanına ulaşması ile sağlanır. Aydınlatma elemanı olarak LED veya halojen kullanılmaktadır. Ancak günümüzde tercih edilen LED ampullerdir.

Otobüs havalandırma ve aydınlatma modüllerinin en az her iki koltuğa bir tane çiftli şekilde koyulması gerekmektedir. Otobüsler için koltuk mesafesi bakımından bir standart olmaması hasebiyle her yolcunun ulaşabileceği şekilde montajı yapılması gerekmektedir.

3. Özgün Ürün Tasarımı

Tasarım çeşitlerini şu üç kategori altında gösterebiliriz [6]:

- Özgün Tasarım
- Uyarlanmış Tasarım
- Değişken Tasarım.

Özgün ürün tasarımı, daha önce örnekleri olmayan bir ürünü kendine has tarzda ve şekillerde tasarlama işidir. Bu sebeple özgün ürün tasarımı cesaret ve kararlılık gerektirir. Tasarıma başlamadan önce atılacak ilk adım, ürün hakkında aşağıdaki maddeler ışığında bilgi toplamak olacaktır [7].

- İhtiyaçları tespit etmek,
- Tasarlanacak ürünün hedef kitlesini belirlemek
- Tüketici algısına hoş gelecek özellikleri belirlemek,
- Tasarlanacak ürünün emsalleri hakkında araştırma yapmak,
- Tasarlanacak ürünün maliyet analizini yapmak.

Yukarıdaki maddeler ışığında tasarımı yapılan ürünlerin karar aşamasında kullanılan ölçütler aşağıda verilmektedir.

- Sadelik
- Fonksiyonellik
- Seri imalata uygunluk
- Kullanılabilirlik
- Estetik
- Maliyet

Bu kıstaslara göre altı tane kavram tasarlanmıştır. Eskiz çizimler Autodesk Sketchbook Pro yazılımı ve beraberindeki dijital çizim tablet kullanılarak yapılmıştır (Şekil 2). Kavram seçimi geliştirilecek tasarımın seçiminde önemli bir adımdır. Bu yöntem tasarım esnasında oluşan karmaşıklığı gidermek amacıyla yapılır.

Kavram seçimi işlemini kolaylaştırmak için kavram izleme ve kavram puanlama matrislerinden yararlanılır. Kavram izleme matrisiyle aşamayı geçemeyen ürünler elenir. Elemeyi geçen ürünler ise bir sonraki aşama olan kavram puanlama matrisinde değerlendirmeye tabii tutulur. Kavram puanlama matrisinde referans alınan kavrama göre en iyi ürün seçilir ve üretime geçme safhasına geçilmiş olunur.

Şekil 2. Taslak çizim ortamı

4. Kavram Tasarımı

Üzerinde çalışılan otobüs tavan havalandırma ünitesi tasarımı için altı adet kavramın (A, B, C, D, E, F) eskiz çizimleri yapılmıştır. Kavram A, geleneksel dikdörtgen tavan modülleri formundadır. Her yolcunun kendine ait bir adet lambası ve havalandırması bulunmaktadır (Şekil 3). Aydınlatma LED ile sağlanmaktadır. Yolcu havalandırma kapağını kendi isteğine göre sağa sola ve ileri geri olarak ayarlayabilmektedir. Ses sistemi ile anons durumlarında her yolcuya ulaşılacaktır. Lamba açma/kapama ve servis isteği düğmeleri her yolcunun üstünde kendisine özel bir şekilde yerleştirilmiştir. Anlaşılabilirlik açısından kolay ve basittir.

Kavram B, serbest çizgilerle tasarlanmıştır. Açılı formuyla tavan modülüne daha çok kişisellik katmaktadır (Şekil 4). Bu formu sayesinde havalandırma ve aydınlatmadan saçılan ışık yalnız açan yolcuya vurmaktadır. Havalandırma kanalı ileri-geri sağa ve sola yönlendirilebilir ve üflenen hava şiddeti ayarlanabilecek şekilde tasarlanmıştır. Aydınlatma gün ışığı LED ile sağlanmaktadır. Bu çeşit LED'ler sayesinde ortamın göze batacak şekilde aydınlatılmaması sağlanacaktır. Ses sistemi modülün yolcuya uzak bir şekilde konumlandırılmış ve yolcunun rahatsız olmaması sağlanmıştır. Işık ve servis isteği düğmeleri yolcunun ulaşabileceği şekilde kolunu kaldırdığı hizaya konumlandırılmıştır.

Kavram C, dairesel şekilde tasarlanmıştır. Minimalizm ve sadelik ön plana çıkarılmıştır (Şekil 5). Aydınlatma modülleri kavramın ucuna yerleştirilmiştir. Aydınlatma düğmeleri yolcu baş hizasına yerleştirilmiştir. Hoparlör kavramın ortasında bulunan boşluğa dairesel formda yerleştirilmiştir. Havalandırma yönü ileri, geri ve sağa, sola olmak üzere ayarlanabilir. Yolcu havalandırmayı kapatmak istediğinde, dönel kapağı havalandırma kanallarının üstüne getirmek suretiyle kapatabilmektedir.

Kavram D, elips formunda tasarlanmıştır (Şekil 6). Bu yapısı sayesine en az alanda en fazla fonksiyonelliği sunmak amaçlanmıştır. Elips formun üzerinden bir şerit halinde aydınlatma düğmeleri ve servis isteği düğmeleri geçecek şekilde görsellik ve estetik katılmıştır. Aydınlatma modülleri yolcu baş hizasına, havalandırma kapakları ise diğer tarafa gelecek şekilde yolcuya çapraz şekilde konumlandırılmıştır. Yine bu tasarım da geleneksel forma yakın bir tasarıma sahiptir. Havalandırma kapakları yolcu isteğine göre ileri ve geri ayarlanabilmektedir.

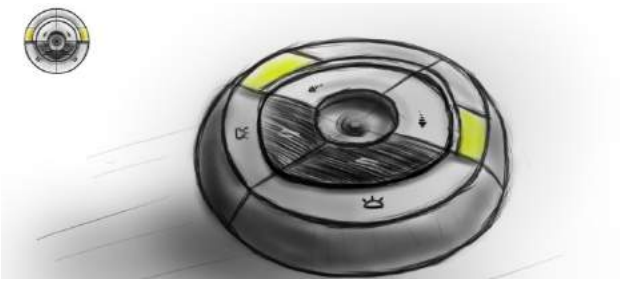
Kavram E, tasarlanırken kuşlardan esinlenilmiştir (Şekil 7). Havalandırma kapağı tıpkı bir kuşun gözleri gibi yolcunun baş hizasına gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Havalandırma kapağı parmak ucu girebilecek şekilde bir boşluğa sahip yapısı ile kapağın istenilen konuma getirilmesi sağlanmaktadır. Gaga kısmına ses sistemi yerleştirilmiştir. Kapaklar ve ses sistemi arasına aydınlatma yerleştirilmiştir. Işık açma kapama düğmeleri kişiye özelken, servis istek düğmesi ortaktır.

Kavram F, serbest bir formda tasarlanmıştır girintili çıkıntılı yapısıyla ortama şıklık katması amaçlanmıştır (Şekil 8). Fütürizmin etkisinde kalınarak tasarlanan bir kavramdır. Şişkin bir yapıya sahiptir. Bu sayede arka bölmesinde bir derinlik oluşturup buralardan LED'ler sayesinde tavan boyunca uzanan ışık huzmelerinin ortamı şık bir görüntüye kavuşturması sağlanmıştır. Havalandırma kapakları kavramın yolcu baş hizasına gelecek şekilde sağına ve soluna yerleştirilmiştir. Kişisel yolcu aydınlatması yolcunun baş hizasına gelecek şekilde sekiz adet LED ışık kaynağıyla sağlanmaktadır. Hoparlörler LCD ekranın alt kısmına yerleştirilmiştir. LCD ekran kavramın ortasına yerleştirilmiştir. Her iki yolcu içinde ayrı şekilde programlanan yazılım sayesinde yolcu isteğine göre ışığı, ışık şiddetini, havalandırma ve havalandırma şiddetini ayarlayabilecektir. İstenirse hoparlörü kapatabilecektir. Tasarımı yapılan kavramlar Şekil 2-8'de gösterilmektedir.

Kavramlar belirtilen kıstaslara göre kavram izleme matrisinde gösterilmektedir (Çizelge 1). Kavram izleme matrisinde A, D ve F kavramlarının yetersiz olduğuna karar verilmiştir. E kavramı en yüksek puana sahip olduğu için bir sonraki aşamada referans kavramı olarak kavram puanlama matrisinde kullanılmıştır. B ve C kavramları eşit puanlarda oldukları için bir sonraki aşama olan kavram puanlama matrisinde değerlendirmeye alınmıştır (Çizelge 2). Ortak olan özellikler dikkate alınmadan ortak olmayan ölçütler üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Kavram puanlama matrisinin sonucunda üretime en makul ürünün B kavramı olduğuna karar verilmiştir (Şekil 9).

Şekil 3. Kavram A

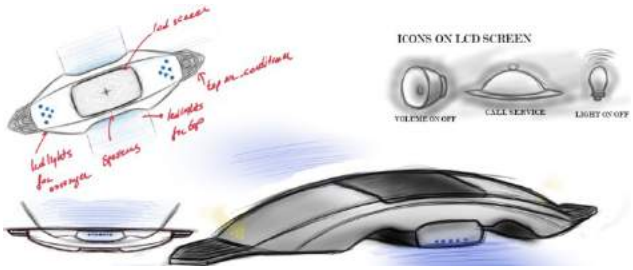
Şekil 4. Kavram B



Şekil 5. Kavram C

Şekil 6. Kavram D

Şekil 7. Kavram E



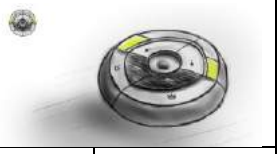
Şekil 8. Kavram F

Şekil 9. Seçilen Kavram (Kavram B)

Çizelge 1 Kavram izleme matrisi [1]

Bağıl Derecelendirme *"+": Referanstan iyi* *"0": Referansla aynı* *"-": Referanstan kötü*	Kavram A (Referans)	Kavram B	Kavram C	Kavram D	Kavram E	Kavram F
Sadelik	0	0	+	-	0	-
Fonksiyonellik	0	0	0	0	0	+
Estetik	0	+	+	+	+	+
Maliyet	0	0	-	0	+	-
Seri İmalata Uygunluk	0	+	+	+	+	0
Kullanılabilirlik	0	+	+	-	+	-
"+" ların toplamı	0	3	4	2	4	3
"-" lerin toplamı	0	0	1	2	0	3
"0" ların toplamı	6	3	1	2	2	0
Toplam Puan	0	3	3	0	4	0
Sıra	3	2	2	3	1	3
Devam	İptal	Devam	Devam	İptal	Devam	İptal

Çizelge 2 Kavram puanlama matrisi [1]

Bağıl derecelendirme *1:Referanstan oldukça kötü* *2:Referanstan kötü* *3:Referans ile aynı* *4:Referanstan iyi* *5:Referanstan oldukça iyi*		Kavram E (Referans)		Kavram B		Kavram C 	
Seçim Ölçütleri	Ağırlık	Derece	Ağırlıklı Puan	Derece	Ağırlıklı Puan	Derece	Ağırlıklı Puan
Maliyet	%60	3	1,8	4	2,4	3	1,8
Estetik	%40	3	1,2	3	1,2	4	1,6
Toplam Puan		3,0		3,6		3,4	
Sıra		3		1		2	
Devam?		İPTAL		SEÇİLEN ÜRÜN		İPTAL	

5. Sonuç

Makalede günümüz koşullarına uygun otobüs tavan havalandırma modülünün özgün olarak tasarımı ve tasarım sürecinde seçilim için kullanılan yöntemler gösterilmiştir. Bunun için altı tane ürün bilgisayar ortamında eskiz çizimleri yapılarak tasarlanmış ve bunlar kavram izleme ve kavram puanlama matrisleriyle değerlendirmeye tabii tutularak içlerinde üretime en makul olan ürünün seçimi yapılmıştır. Makul olan ürünün B kavramı olduğuna karar verilmiştir.

Ürün tasarımı insanın zihninde canlandırdığı çizgileri gerçeklikle buluşturmasıdır. Ürün tasarımı yaratıcılık yönü yüksek olan her kişin işi iken gerçeklik kısmı ise mühendislik yöntemleri gerektirmektedir.Bu sebeple mühendislik yöntemler tasarımın gerçekleşmesi için önem arz etmektedir.

Kaynaklar

[1] Göloğlu, C., “Sistematik Tasarım Ders Notları”, KBÜ. Mühendislik Fakültesi, Karabük, 2014.

[2] Pahl, G. and Beitz, W., “Engineering Design: A Systematic Approach”, English translation of K.Wallace (ed.), Springer Verlag, London, 1988.

[3] Day, Ronald G., Kalite Fonksiyonu Yayılımı, ASQC Quality Press Milwaukee, Wisconsin, 1998.

[4] Asatekin, M., TMMOB Makine Mühendisleri Odası IX. Otomotiv ve Yan Sanayii Sempozyumu, 27-28 Mayıs, Bursa, Türkiye, 2005.

[5] Frigorifik araç ve araç kliması montajı, http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/tesisat/moduller/frigorifik_arac_ve_arac_klimasi_montaji.pdf,(Erişim: February 2014).

[6] Prashant, K. Product Design: creativity, concepts, usability, New Delhi PHI Learning Private Limited, 2012.

[7] Shah, J.J. and Kulkarni, S.V., Vargas-Hernandez, N., “Guidelines for Experimental Evaluation of Idea Generation Methods in Conceptual Design”, Journal of Mechanical Design, 122(4), 377-384, 2000.

POLİAMİD DİŞLİ TASARIMI

DESIGN OF POLYAMIDE GEARS

Hilal CAN
Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, E-posta: hilalcan@pau.edu.tr

Özet

Plastik dişliler hafif, ucuz, korozyona dayanıklı olmaları ve gürültüsüz çalışmaları nedeniyle tercih edilmektedir. Poliamid dişliler plastik dişliler içinde yüksek yorulma dayanımına sahip olmaları nedeniyle plastik dişli malzemesi olarak en sık kullanılan polimer türüdür. Bu çalışmada literatürde yapılmış çalışmalar ışığında BS6168 standardı ile hesaplamalar yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. ANSYS'de modellemesi yapılan dişlilerin yorulma ömürleri teorik hesaplar ve deneysel sonuçlar ile birlikte değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Plastik dişli, Poliamid, Tasarım, Yorulma

Abstract

Plastic gears, which have low noise, lightness and self lubricated, are limited in their usage because of their low strength. Polyamide gears have been used for plastic gear materials because of they have more fatigue strength other polymers. In this study rating methods of plastic gears are investigated. Several calculations on BS6168 standards. The results of the standards compared with ANSYS analysis and other literature results.

Keywords: Plastic gear, Polyamide, Design, Fatigue

Semboller

σ_m	Diş dibi gerilmesi	(MPa)
y	Lewis form faktörü	
h_q	Nominal yükseklik	(mm)
s_q	Nominal kalınlık	(mm)
b	Diş genişliği	(mm)
P	Temas gerilmesi	(MPa)
P_d	Çapsal adım	(in^{-1})
d	Temel dairesi çapı	(mm)
m_n	Normal modül	(mm)
ε_α	Temas oranı	
υ	Poisson oranı	
E	Elastisite modülü	(MPa)
u	Çevrim oranı	
μ	Sürtünme katsayısı	
V	Temel dairesi hızı	(m/s)
θ	Sıcaklık	(^oC)
ψ	Basınç açısı	(^{o})
F_t	Teğetsel yük	(N)
α	Kavrama açısı	(^{o})
z	Diş sayısı	

1. Giriş

Dişliler hareket ve güç iletimini sağlayan önemli makine parçalarıdır. Dişli malzemesi olarak büyük oranını çelik, dökme demirin oluşturduğu metal dişli çarkların yanında metal olmayan dişli çarklarda da en fazla plastik malzemeler ve nadir olarak da ahşap kullanılmaktadır. Tasarımın kriterlerinden olan hafiflik nedeniyle plastik dişlilerin kullanımlarına yönelik çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Plastik dişlilerin kullanımına teşvik eden tek özellik hafiflik değildir. Korozyona dayanıklılık ve yağlama gerektirmeksizin çalışabilmeleri gıda ve kağıt endüstrisi gibi alanlarda kullanımını zorunlu kılmaktadır. Plastik dişlilerin kullanımlarını sınırlayan en önemli faktör ise düşük mekanik dayanım değerleridir. Metal dişlilere uygulanan ısıl işlemler, alaşımlama gibi mukavemet arttırmaya yönelik yöntemler plastik dişlilerde kompozit malzeme, alaşımlama gibi farklı yöntemler şeklinde uygulanmaktadır. Plastik dişlilerin hasar mekanizmaları metal dişli çarklar için de geçerli olan aşınma, yorulma, temel dairesi üzerinde hasardan farklı olarak çalışma esnasında sistemde oluşan ısının düşük ısı iletim katsayısı nedeni ile atılamaması ve dolayısıyla biriken ısının dişlileri yumuşatmasıdır. Bu yumuşama beklenenin altındaki zorlamalarda hasarı ve düşük ömür değerlerini beraberinde getirmektedir. Dişli hesapları diş dibinden eğme ve yüzey basıncı ile hasara uğrama durumuna göre farklı şekillerde yapılmaktadır. Plastik dişlilerin dayanım değerlerinin düşük olması sık hasara uğramalarına neden olmaktadır. Bu durum, hem yeni malzemenin üretilmesi için gereken üretim maliyeti yanında hem de gerekli parçanın değiştirilmesi esnasında duran makine veya sistem nedeniyle zincirleme olarak artan bir maliyet doğurmaktadır. Plastik dişliler ucuz oldukları için tercih edilseler de çalışmanın durması esnasındaki iş kaybı nedeniyle ekonomik cazipliklerini yitirmektedirler. Bu nedenle plastik dişlilerin ömürlerinin arttırılması önemlidir.

2. Plastik Dişlilerin Hesap Yöntemleri

Metal dişli çarkların hesapları için BS 436, AGMA 218 ve ISO 6336 gibi standartlar geliştirilmiştir. Diş eğilmesi ve yüzey temas gerilmesini hesaplama için temel bağıntılar diş dibi kırılması için Lewis, eğme gerilmesi, temas korozyonu için ise Hertzian temas eşitlikleridir. Plastik dişliler için Lewis ve Hertz eşitliklerinde bu durumlara ait uyarlamalar daha az bir gelişim göstermiştir. Teğetsel kuvvet F_t diş üstünden etkidiğinde diş geometrisi de hesaba katılarak Lewis tarafından geliştirilmiş diş dibi eğme gerilmesi için bilinen eşitlik, K_d düzeltme faktörü ile birlikte aşağıdaki şekildedir [1].

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

$$\sigma_e = \frac{F_n}{b \cdot m} \cdot K_d \leq \sigma_{müs} \qquad \left(K_d = \frac{6m \cdot \cos\alpha \cdot h_q}{s_q^{\,2}} \right) \tag{1}$$

Dişteki temas gerilmesini hesaplamak için temas halindeki silindirler için uygun olan Hertz eşitliği genel olarak uyarlanmaktadır. Silindirlerin çapı evolvent dişin eğrilik çapı olarak alınıp eşlenmiş dişlilerde temas noktasındaki temas gerilmesi S_c aşağıdaki eşitlikle verilir;

$$P = \sqrt{\left\{ \frac{F_t}{bd} \frac{E_1 E_2}{(1-\nu_1)E_2 + (1-\nu_2)E_1} \frac{4}{\sin(2\psi)} \frac{u+1}{u} \right\}} \tag{2}$$

Plastik dişliler için, sıcaklıktaki küçük artışlar çekme dayanımı, sürünme limiti ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerde büyük değişimlere yol açmaktadır. Sıcaklık artışı, ısıl iletkenliği düşük plastiklerin diş kayması ve diş eğilmesinin sonucu olarak içsel histerizis ile ısı birikiminden meydana gelmektedir. Plastik dişliler genellikle yağlamasız olarak kullanılmaları nedeniyle çalışma esnasında oluşan sıcaklık artmaktadır. Yağlamanın dişten ısı iletiminin artırılması ve kayma sürtünmesinin düşürülmesi üzerinde önemli etkisi vardır ve dişli performansını büyük ölçüde etkilemektedir. Metal dişliler için kullanılan düzeltme faktörleri plastik dişlilerdeki gerilme üzerinde aynı etkiye sahip değildir ve plastik dişlilerde bu etkilerin yanında sıcaklık ve nem gibi ek faktörlerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Plastik dişlilerin hesapları ile ilgili çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Plastik dişlilerin yorulma davranışına etki eden pek çok faktör olası nedeniyle metal dişliler için önerilen düzeltme faktörlerinin tümünü kapsayan genel bir eşitlik sağlamak zordur. Yelle müsaade edilebilir diş dibi eğme gerilmesi (S_{La}) ile tanımlanan eşitliği önermiştir[3]. BS 6168, Polypenco, ESDU 68001, VDI 2545 (Verein Deutscher Ingenieure) plastik dişli hesapları için en sık kullanılan yöntem ve standartlardır. Her yöntemde hesaplanan gerilme malzeme için müsaade edilen yorulma dayanımından küçük olmalıdır. Bu standartlara göre eğme gerilmesi hesabı Çizelge 1'de gösterilmiştir [2-5].

Hesap yöntemlerinin karşılaştırılması ile tüm hesap yöntemlerinde, asetal/asetal kombinasyonuna göre naylon/naylon kombinasyonu yüksek, naylon/asetal kombinasyonuna göre naylon/naylon kombinasyonu ise biraz daha yüksek sonuç verdiği bulunmuştur. Naylon/naylon dişli çifti için hesap yöntemleri arasında güç hesaplamasında önemli farklılıklar vardır. Tüm durumlarda ESDU eğme hesabı için en düşük sonuçları vermektedir. ESDU için dişli boyutu arttıkça Polypenco ve BS hesaplamaları ile karşılaştırıldığında oldukça önemli farklılıklar ortaya çıkmaktadır [2].

3. Plastik Dişlilerde Mukavemet Arttırma

Plastik dişlilerin yorulma dayanımlarını arttırmak için, ya dişlide oluşan hesaplama yöntemlerinden elde edilen gerilme düşürülmeli ya da ($\sigma \leq \sigma_{müs}$) eşitliğinin sağındaki müsaade edilen yorulma dayanımı arttırılmalıdır. Dişlide oluşan gerilmeyi düşürmek için nem faktörü, sıcaklık faktörü, hız faktörü, form faktörü gibi katsayıları düşürmek gereklidir. Literatürde plastik dişlilerin dayanımlarını arttırmak için yapılan çalışmalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Boyutsal Değişiklikler [6-8]
- Yüksek Dayanımlı Malzeme Seçimi [9]
- Takviye Malzeme Kullanımı
  - Ana malzeme dışında bir plastiğin takviyesi [11-13]
  - Ek malzeme takviyesi [13-21]

Çizelge 1. Eğme gerilmesi hesap formülleri [2-5]

Hesap Yöntemi	Eğme Gerilmesi Formülü
Yelle	$S_{La} = S_{Lf} \dfrac{K_L K_H K_T K_V}{K_C K_S K_m K_F C_S}$ (3) S_{Lf}: deneylerle belirlenen yorulma dayanımı K_L: Yağlama faktörü K_H: Nem faktörü K_T: Sıcaklık faktörü K_V: Hız faktörü (dinamik etkileri de içerir) K_C: Üretim faktörü K_S: Malzeme faktörü, K_m: Eşlenmiş dişlilerde malzeme faktörü K_F: Metal dişli yüzey pürüzlülük faktörü C_S: Servis ömrü faktörü olarak
BS6168	$\sigma_F = \dfrac{F_t}{bm_n} Y_F Y_\varepsilon K_A$ (4) K_A: Uygulama faktörü Y_F: Eğme için form faktörü Y_ε: Eğme için temas oranı faktörü
Polypenco	$S = \dfrac{2TP_d}{dbY} C_1 C_2$ (5) C_1: Çalışma durumu düzeltme faktörü C_2: Sıcaklık düzeltme faktörü Y: Eğme gerilmesi faktörü
ESDU 68001	$\sigma_{f,\lim} = \dfrac{F_{t,\lim} P_d}{Y K_T K_H K_E}$ (6) K_T: Sıcaklık faktörü K_H: Nem faktörü (yağlamasız dişliler için) K_E: Tasarım faktörü $F_{t,lim}$: Birim genişlikte izin verilen teğetsel kuvvet Y: Eğme gerilmesi faktörü
VDI 2545	$\sigma_F = \dfrac{F_t}{bm} Y_\beta Y_\alpha K_A \leq \sigma_{FN}$ (7) Y_β: Helis dişliler için düzeltme faktörü Y_α: Temas oranı düzeltme faktörü ($Y\alpha = 1/\varepsilon_\alpha$)

Plastik dişlilerin ömürlerinin arttırılması amacıyla yapılabilecek en basit çözüm aynı yüke maruz kalacak daha büyük bir dişli yapmaktadır. Boyutların büyütülmesi sadece modülün büyütülmesi anlamında değildir. Modülün büyütülmesi dışında basınç açısının düşürülmesi ile de diş dibi kalınlığı değiştirilebilir.

Plastik dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli özellikleri Çizelge 2'de verilmiştir. Dayanımı daha yüksek başka bir plastiğin kullanımı ile mukavemet artışı sağlanabilir. Ancak bu çoğu zaman beraberinde maliyet artışını da getirmektedir. Örneğin; PEEK dayanım değerleri

ve fiyatı asetale göre yüksektir. HDPE ve PS daha düşük fiyata sahiptir, ancak emniyetli gerilmelerinin daha düşük olacağı tabloda verilen mekanik özellikleri ile doğru orantılı olarak düşüktür. Plastik dişlilerin seçiminde yoğunluk da önemli bir kriterdir ve fiyatı da etkilemektedir. Aynı boyutlara sahip iki dişlinin yoğunluk farkı nedeniyle de fiyatları arasındaki fark daha da artacaktır. Örneğin poliasetal ve HDPE olarak karşılaştırma yapılırsa poliasetal dişli en az 1,46 kat daha ağır olacak buna bağlı olarak da fiyatı 4,65 kat artmış olacaktır.

Çizelge 2 Dişli yapımında kullanılan plastiklerin çeşitli özellikleri [10]

Malzeme	Yoğunluk (kg/m^3)	Akma Dayanımı (MPa)	Eğme Dayanımı (MPa)	Fiyat *
Poliasetal	1410-1420	62-69	90-97	3,5
Poliamid 6	1120-1140	62-90	34-97	3,9
PC	1100-1250	55-66	90-97	4,2
PSU	1240	68,9-75,8	97-105	11
PET	1350-1370	62 (çekme)	112	3,0
HDPE	941-965	21-38	-	1,1
ABS	1020-1060	22-54	34-97	2,1
PS	1040-1090	34-82,7	55-97	1,1
PEEK	1300	70 (çekme)	110	42
PP	900-910	30-38	41-55	1

* Fiyatlar PP baz alınarak belirlenmiştir.

Takviye malzeme kullanımı, plastik malzemelerin dayanımlarını arttırmak amacı ile plastik matriks içerisine cam ya da karbon elyaf takviyesi yapılmasıdır. Bununla birlikte plastiklerin başka plastiklerle alaşımlandırılması uygulamaları da bulunmaktadır. Karbon ve cam elyaf takviyesi ile elde edilmiş çeşitli plastiklerin yorulma dayanımları Çizelge 3'te verilmiştir [10].

Çizelge 3 Takviyeli plastiklerin yorulma özellikleri

Malzeme	Cam elyaf yüzdesi (%)	Karbon elyaf yüzdesi (%)	Yorulma dayanımı (MPa)[1)]	
			10^4 devir	10^7 devir
Asetal	30	-	62	47
Naylon 66	-	-	45	36
Naylon 66	40	-	72	63
Polikarbonat	20	-	62	34
Polikarbonat	40	-	100	41
PBT	30	-	76	35
PBT	-	30	90	45

[1)] Numuneler ASTM D 671'e göre 1800 devir/dakikada test edilmiştir.

Crippa ve Davoli tarafından yapılan çalışmada elyaf takviyeli naylon 6 dişlilerin karşılaştırmalı yorulma dayanımları incelenmiştir. Farklı takviyelerle enjeksiyon kalıplama yoluyla üretilmiş naylon 6 dişlilerin yorulma dayanımı – ömür diyagramları çeşitli yağlama durumları altında (kuru, gres, püskürtme ile yağlama) ve farklı eşleme kombinasyonları (plastik/plastik ve çelik/plastik dişliler) için ele alınmıştır. %30 karbon elyaf takviyeli poliamid, % 35 cam elyaf takviyeli poliamid ve % 35 cam elyaf takviyeli MoS_2 içeren poliamid ve takviyesiz poliamidden yapılmış dişliler belli test karakteristikleri altında deneye tabi tutulmuş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları ile 20-45 Nm arasındaki momentlerin 10 milyon devirden fazla devir sayıları için plastik dişliler yoluyla iletilebileceği, yağlama şeklinin yorulma dayanımını oldukça etkilediği, cam elyaf takviyeli poliamid dişlilerin çelik dişlilerle eşlenmelerinde kabul edilemez aşınma oluştuğu, MoS_2 ilavesinin aşınmayı azalttığı ve karbon elyaf takviyesinin kabul edilebilir aşınmayla yüksek moment iletimine izin verdiği bulunmuştur [21].

Fiber takviyeli poliamid dişlilerin deneylerinde kullanılan dişlilere ait tablo ve deneyler sonucunda çeşitli kombinasyonlara göre aşınma durumu Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4 Aşınma performansı nitel karşılaştırma [21]

	Pinyon										
	Çelik					PA6C		PA6V	PA6VM		
YAĞLAMA	S	G	4	6	8	G	6	G	G	6	8
PA6	O	O	D	D	D						
PA6C		O		O		Y	O				
PA6V			K*	K*				K			
PA6VM		O							K	O	O

D : Düşük aşınma
O : Orta aşınma
H : Yüksek aşınma
K : Kabul edilemez aşınma
*: çelik pinyon aşınması

Malzemeler için açıklama
Çelik : 39NiCrMo3 (yüzeyi işlenmiş)
PA6 : polyamid6 (SNIAMID ADS 40)
PA6C : polyamid6, %30 karbon elyaf takviyeli (SNIAMID ASN 27/300 FC)
PA6V : polyamid6, %35 cam elyaf takviyeli (SNIAMID ASN 27/350 SR)
PA6VM : polyamid6, %35 cam elyaf ve MoS_2 takviyeli (SNIAMID ASN 27/300 SRY)
(*) : test tamamlanmamış (çelik dişlideki sert aşınma)

Yağlama modülü için açıklama:
S : kuru
G : başlangıçtaki EP-Lityum gres (DIN 51502) ile yağlama
4, 6, 8 : 40 °C, 60 °C, 80 °C de püskürtme ile yağlama, katkısız mineral yağ, VI= 100, ISO derece 68, 40 °C de viskozite 63 cSt

4. Hesaplamalar

BS 6168 standardında plastik dişlilerin diş dibinden kırılmaya göre hesaplamaları yapılırken sıcaklık ve yağlama etkisi göz önünde bulundurulmaktadır. Dönüştürülmüş temas oranı nem ve sıcaklığın değişimine göre hesaplanır.

BS 6168 standardında verilen hesap yöntemine göre poliamid-çelik ve poliamid poliamid dişli kombinasyonlarına ve test cihazına uygun olarak yapılan hesaplardan için malzeme özellikleri Çizelge 2'de BS6168 standardına göre

hesaplamalarla elde edilen ömür değerleri ve diş dibi gerilmeleri Çizelge 5-6'da verilmiştir.

Çizelge 5 Hesaplamalarda kullanılan malzeme özellikleri

Modül (mm)	6
Çark diş sayısı (z_1)	20
Pinyon diş sayısı (z_2)	20
Çevrim oranı (u)	1
Sürtünme katsayısı (μ)	0,25 (PA 66/çelik) 0,18 (PA 66/PA 66)
Başlangıç nem oranı %	40
Sürüş şekli faktörü (K_b)	0 (açık)
Malzeme faktörü (K_m)	0,75 (PA6, PA66)
Uygulama faktörü (K_A)	1 (üniform)
Diş form faktörü (Y_F)	2,8 (x=0)
Yağlama faktörü (K_a) Diş yüzey sıcaklığı için	10 (PA 66/çelik) 15 (PA 66/PA 66)
Devir sayısı (d/dakika)	830

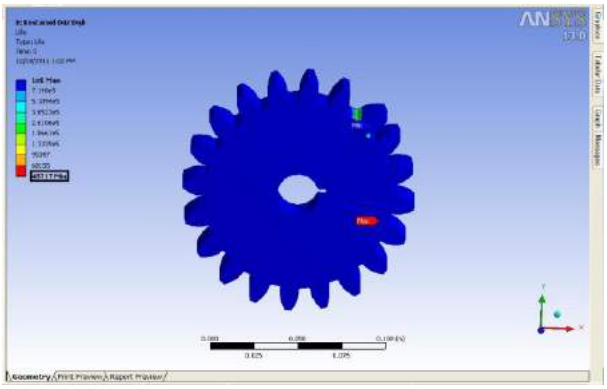
Çizelge 6 Test cihazına uygun verilerle BS6168'e göre ömür değerleri ve diş dibi gerilmeleri

PA/Çelik				
F (N)	Sıcaklık (^oC) θ	Nem % İşlem sırasında	Diş dibi gerilmesi (σ_{Fh}) MPa	Çevrim sayısı N
1500	42	40	12,4	$>10^9$
		60	12,37	$>10^9$
		70	12,3	$>10^9$
		80	12,15	$>10^9$
3000	55	40	23,35	2.10^8
		60	23,28	4.10^8
		70	23,16	8.10^8
		80	22,89	$>10^9$
4065	65	40	31,72	3.10^5
		60	31,63	$3,2.10^5$
		70	31,46	$3,6.10^5$
		80	31,1	$4,5.10^5$
PA/PA				
F (N)	Sıcaklık (^oC) θ	Nem % İşlem sırasında	Diş dibi gerilmesi (σ_{Fh}) MPa	Çevrim sayısı N
1500	44	40	12,55	$>10^9$
		60	12,49	$>10^9$
		70	12,35	$>10^9$
		80	12,07	$>10^9$
3000	57	40	23,7	10^7
		60	23,58	$1,2.10^7$
		70	23,32	$1,5.10^7$
		80	22,78	2.10^7
4065	67	40	32,24	2.10^5
		60	32,06	$2,2.10^5$
		70	31,72	$2,5.10^5$
		80	30,97	3.10^5

Başlangıçta gres yağlama ve işlem esnasında sıvı yağ ile yağlamaya göre de hesaplamalar yapılmış ve işlem sırasında sıvı yağ ile yağlama durumunda ömür değerlerinde artış saptanmıştır. Standartta verilmiş Wöhler eğrilerinde minimum 10^5 devir için değer verilmiştir. Standarda göre PA dişlinin maksimum gövde sıcaklığı 90 ^oC olmalıdır. Hesaplanan yüklerde bu sınır aşılmamıştır.

4.1. ANSYS'de Modellemenin Yapılması

Düz dişli çark modelleri SolidWorks kullanılarak oluşturulmuş ve bu modeller Ansys Workbench programına aktarılarak yorulma analizleri Ansys Workbench programının Static Structural modunda gerçekleştirilmiştir. Şekil 1' de verilmiştir. Dişlilerde yorulma çatlağı çeki bölgesinde başlamakta ve ilerlemektedir. Modülü 6, diş sayısı 20, diş genişliği 60mm olan F_t= 2000 N'luk yükleme için kestamid dişlinin ömür simülasyonu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 2000N'luk teğetsel kuvvete maruz poliamid dişlinin ANSYS analizi

ANSYS simülasyonuna göre 2000 N luk teğetsel yüke maruz poliamid dişlide en düşük ömür değeri 48717 olarak bulunmaktadır. 20 diş sayısına sahip poliamid dişlilerle yapılan ANSYS uygulamalarında deliksiz, diş boyunca diş üstünden 2 mm çapında 5 adet delikli, diş dibinden 3 mm delikli, diş dibinden 4 ve 2 mm delikli, diş dibinden 5 ve 3 mm delikli olacak şekilde 5 tip numune grubu için analiz yapılmıştır. Modifiye edilmiş delikli dişli numuneleri ve modifiyesiz dişlilerin ömür değerleri ve diş dibi gerilmeleri için Çizelge 7 oluşturulmuştur.

Çizelge 7 Dişlinin ANSYS analizi

Uygulanan Yük	Ömür	Gerilme (MPa)
750 N	$5,4512.10^7$	3,79
1500 N	$6,1443.10^6$	7,05
3000 N	$2,3822.10^5$	14,11
4500 N	13736	21,17

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Deneysel olarak yapılmış çalışmada poliamid 6 dişlinin çelik dişli kombinasyonunda düşük ve orta aşınma değerleri bulunmuştur. Deneylerin gerçekleştirildiği güç bilinmediği için diş üstüne gelen yük ile ilgili olarak fikir yürütmek mümkün değildir. BS6168'e göre yapılan hesaplamalar ile elde edilen bulgularda da eş dişli olarak çeliğin kullanılmasının ömrü arttırdığı belirlenmiştir. Eş dişli kombinasyonunun çelik seçilmesi durumunda BS 6168 standardına göre oluşan sıcaklık 2-4 ^oC düşmektedir.

BS 6168 standardında dişlinin çelik olması durumunda poliamid-poliamid kombinasyonuna göre en az 1,5 katlık ömür artışı belirlenmiştir. ANSYS ile bulunan devir sayıları da diş dibi gerilmeleri de daha düşüktür. BS6168 standardına göre yapılan hesaplamalarda diş dibi gerilmeleri daha yüksektir. ANSYS ve BS6168 numaralı standarda göre yapılan teorik hesaplama ve simülasyon sonuçları Çizelge 8'de sunulmuştur.

Çizelge 8. BS 6168 standardına göre teorik hesaplama ve ANSYS simülasyon sonuçları

Yük (N)	Diş dibi gerilmesi (MPa)		Çevrim sayısı	
	ANSYS	BS 6168	ANSYS	BS 6168
1500	7,05	12,4	$6,1443.10^6$	$>10^9$
3000	14,11	23,35	$2,3822.\ 10^5$	$2.\ 10^8$
4500	21,17	35,12	13736	$<10^5$

Çizelge 8'te görüldüğü gibi ANSYS ile oluşturulan verilerde diş dibi gerilmeleri ve ömür değerleri, BS 6168 ile elde edilen değerlere göre daha düşüktür. BS 6168 standardında çelik dişli-PA 66 kombinasyonu için temel dairesi hızının 10 m/s olması durumunda Wöhler eğrisi verilmiştir ve bu eğri 10^5 ile 10^9 çevrim sayısı aralığındadır. Nem oranı %40 nem olarak alınmıştır. ANSYS analizlerinde malzeme özellikleri PA6 olarak girilmiştir. Sonlu elemanlar metodu ile elde edilen sonuçlar BS 6168 standardında pek çok kabul gerektiğinden ve fazla işlem gerektirdiğinden daha güvenilir olarak değerlendirilebilir.

Poliamid dişlilerin tasarımında daha uzun süreli kullanım için mümkünse eş dişli olarak çelik seçilmeli, takviye tel kullanımı ile dayanımın arttırılması ve yağlamanın yapılması önerilir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 110690 No'lu proje tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

[1] ANON, "Plastic gear design basics", Gear Technology, 13 (4): 1-6, 1996.
[2] Walton, D., Shi, Y. W., "A comparison of ratings for plastic gears, Proc Instn Mec Engrs", 203, 1989, p.31-38.
[3] Yelle, H. J. M. Design of thermoplastic gears with an involute profile, PhD thesis, 1977, University of Waterloo, Canada.
[4] Crippa, G., Davoli, P., Gorla, C., "Developments on rating methods for nylon 6 gears" American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division DE, 88: 745-751, 1996.
[5] BS 6168:1987 Non-metallic spur gears, British Standard Institution
[6] Birley, A. W., Heath, R. J., Scott, M. J., Plastics Materials Properties and Applications, 2nd Edition, Chapman and Hall, New York, 1988.
[7] H. İrmek, Performance improvement method for Nylon 6 spur gears, Tribology International, 42 (3), 2009, 503-510.
[8] Düzcükoğlu H., 2009: Study on Development of Polyamide Gears For İmprovement of Load-Carrying Capacity, Tribology International, 42 (8) p.1146-1153).
[9] Tsukamoto N, Maruyama H, Koba T. Operating characteristics of super engineering plastic gears (1st report, Polyimide gears). Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers 1993; 59 (557): 238-245
[10] ASM Engineered Materials Reference Book, 2nd Edition, ASM, OH, 1999.
[11] Tsukamoto N, Maruyama H, Mimura H. Polymer Alloy Gears (Polymer Alloy Gears Consisting of Polyacetal and Polyurethane), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen / Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers 1995; 61 (581): 245-252
[12] Tsukamoto N, Maruyama H, Ikuta T. Study on the development of low-noise gears (1st report, silencing effect and operation characteristics of nylon gears filled with plasticizers), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers 1990; 56 (522): 455-461
[13] Tsukamoto N, Maruyama H, Ikuta T. Study on development of low noise gears. (2nd Report, silencing effect and operating characteristics of polyamide elastomer gears), Nippon Kikai Gakkai Ronbunshu, C Hen/Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers 1990; 56 (527): 1906-1913
[14] Rao M, Hooke C J, Kukureka S N, Liao P, Chen Y K. Effect of PTFE on the friction and wear behavior of polymers in rolling-sliding contact.. Polymer Engineering and Science 1998; 38 (12): 1946-1958
[15] Kurokawa M, Nagai S. Reinforcement of polyamide 6 with thermotropic liquid crystalline polymer. Polymer Engineering and Science 1999; 39 (5): 872-880
[16] Kurokawa M, Uchiyama Y, Iwai T, Nagai S. Performance of plastic gear made of carbon fiber reinforced polyamide 12. Wear 2003; 9448: 1-6
[17] Düzcükoğlu, H., Demirci M.T., Yakut R., Ekinci Ş., 2009: Plastik Dişli Çark Diş Yüzeyinde Oluşan Temas Sıcaklığının Diş Hasarı Üzerine Etkisi, 5. Uluslar Arası Malzeme Sempozyumu.
[18] Kim C.H., 2006: Durability İmprovement Method For Plastic Spur Gears, Tribology International, 39, (11) p.1454-1461).
[19] Can, H., Öngerilmeli Plastik Dişli Çark Tasarımı, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2004
[20] Can, H. Ergun, E., Topçu, M., Dindar, B., Bazı Polimerik Dişli Çarkların Çeşitli Takviye Elemanları ile Yorulma Dayanımlarının Arttırılması, Bildiriler IMPS 2012, Kitabı, 2012, Denizli
[21] Crippa G, Davoli P, Comparative fatigue resistance of fiber reinforced nylon 6 gears. Journal of Mechanical Design, Transactions Of the ASME, 1995; 117 (1): 193-198

MAKİNE ELEMANLARI TASARIM VE İMALATINDA YENİ MALZEME YAKLAŞIMLARI

NEW MATERIAL APPROACHES TO DESIGN AND MANUFACTURING OF MACHINE ELEMENTS

Arzum ULUKÖY
Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, E-posta: aulukoy@pau.edu.tr

Özet

Mühendislik uygulamalarının birçoğunda malzemelerden istenen özellikler, seramik-metal, metal-metal, polimer-seramik veya seramik-seramik malzemelerin birleştirilmesi elde edilmektedir. Seramik malzemeler düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık dayanımı ve iyi sürünme direncine sahip olmakla beraber, kırılma toklukları ve termal şok dirençleri zayıftır. Diğer taraftan, metalik malzemelerin seramik malzemelere oranla yüksek kırılma tokluğu ve termal şok direnci iyi olmakla beraber, yüksek sıcaklıklarda dayanımları düşmektedir. Polimer malzemelerin dayanımları düşük olmasına rağmen, korozyon dirençleri çok iyidir. Kompozit malzemeler ise, birçok farklı mühendislik uygulamasında malzeme gereksinimini karşılamaktadır. Fakat iki farklı malzemenin birleştirilmesi, beraberinde termal ve artık gerilmelerin oluşumu gibi ciddi problemleri de beraberinde getirmektedir. Bu problemleri aşabilmek amacıyla üretim yöntemleri, yüzey kaplama teknikleri ve ısıl işlem teknikleri hakkında araştırmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, makine elemanlarının malzeme seçimi ve üretiminde ki yeni yaklaşımlar incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Makine elemanları, malzeme seçimi, kompozit, ısıl işlemler

Abstract

In many engineering applications, the expected properties of materials can be obtained by combining ceramic-metal, metal-metal, polymer-ceramic, or ceramic-ceramic materials. Although ceramic materials have low density, high temperature resistance, and good creep resistance, they have both weak fracture toughness and thermal shock resistance, also. Metallic materials have several desired properties, such as high fracture toughness and thermal shock resistance, but their high temperature strength is weak compared to the ceramic materials. Despite polymer materials have low strength; their corrosion resistance is better than the metallic materials. Composite materials provide the requirements in many different engineering applications. However, combining the two different materials together can bring serious problems such as the formation of thermal and residual stress. In order to overcome these problems; production methods, surface coating techniques, and researches on heat treatment techniques are increasing day by day. In this study, the recent works of the material manufacturing and selection of machine elements were analyzed. The properties that can be obtained by using new manufacturing methods and new materials were examined.

Keywords: Machine elements, material selection, composite, heat treating

1. Giriş

Malzeme, mühendisin yaptığı tasarımı gerçekleştirmek için kullandığı maddelerdir. Her bir mühendislik dalı için farklı malzemeler önem kazanmaktadır. Mühendislerin, malzemelerden beklediği önemli özellikler [1]: statik dayanım, yorulma dayanımı, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük sıcaklıkta gevrekleşmeme, hafiflik, elektrik ve ısı iletim özelliklerinin kullanım yerine göre iyi veya kötü olması, üretilebilir olması, maliyet ve görünüm olarak sıralanabilir.

Metaller, seramikler ve polimer malzemeler temel malzeme çeşitleri olarak sıralanabilir. Seramikler düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık dayanımı ve iyi sürünme direncine sahip olmakla beraber, kırılma toklukları ve termal şok dirençleri zayıftır. Diğer taraftan, metalik malzemelerin seramik malzemelere oranla yüksek kırılma tokluğu ve termal şok direnci iyi olmakla beraber, yüksek sıcaklıklarda dayanımları düşmektedir [2]. İnsan yapımı polimer malzemeler yaklaşık 100 yıldan beri kullanılmaktadır. Ancak dayanım gerektiren yapısal uygulamalarda kullanılamamaktadır [3].

Mühendislik uygulamalarının birçoğunda malzemelerden istenen özellikler, seramik/metal, metal/metal, polimer/seramik gibi malzeme kombinasyonlarıyla elde edilmektedir. Metal matrisli ve seramik malzeme takviyeli kompozit malzemeler, birçok farklı mühendislik uygulamasında malzeme gereksinimini karşılamaktadır [2]. Güçlendirilmiş polimer matrisli malzemeler ise çok hızlı bir şekilde özellikle ağırlık azaltımının önemli olduğu yerlerde uygulama alanı bulmaktadır [3].

İki farklı malzemenin birleştirilmesi, beraberinde termal ve artık gerilmelerin oluşumu gibi ciddi problemleri de beraberinde getirmektedir. Termal gerilmeler özellikle keskin ara yüzeylerin çevresinde oluşmakta ve ara yüzeylerde çatlak oluşma ihtimalini yükseltmektedir. Bu problemlerin üstesinden gelebilmek için özellik, mikroyapı ve kompozisyon olarak derecelendirilmiş malzemeler üretilmeye başlanmıştır [2]. Derecelendirilmiş seramik-metal ara yüzeyinde termal gerilmeler ve süreksizlikler azalmaktadır [4, 5]. Nanokristalli malzemeler de yeni bir malzeme grubudur. 100 nm veya daha az boyutlu partikül

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

takviyeli malzemeler çoğu elektronik ve mekanik uygulamalarda kullanılabilir. [3].

Son 50 yılda seramik malzemelerin sentezi ve şekillendirilmesiyle ilgili ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak hala zayıf kırılma tokluğu ve yüksek üretim maliyeti sorunları çözülememiştir [3]. Metallerin üretimiyle ilgili döküm ve yüzey işlemleri gibi pek çok alanda yeni sentezler geliştirilmektedir. Bu yeni sentez ve yöntemlerle malzemede elde edilebilecek mikroyapı ve mekanik özellikler iyileştirilmektedir. Ayrıca üretim parametreleri değiştirilerek, farklı metallerin, alaşımların ve kompozit malzemelerin üretilebilirliği araştırılmaktadır.

Bu çalışmada, makine elemanlarının malzeme seçimi ve üretimindeki yeni yaklaşımlar incelenmiştir. Tasarlanan parçanın, öngörülen üretim yöntemiyle üretilebilir olması önemlidir. Üretim yöntemi, malzemenin mekanik özellikleri üzerinde çok etkilidir. Dövme ve döküm yöntemleriyle üretilmiş aynı malzemeden olan parçanın dayanım ve mikroyapı özellikleri farklılık göstermektedir. Üretim sırasında veya üretim sonrasında uygulanan ısıl işlemler ile malzemenin mikroyapısı ve mekanik özellikleri değiştirilebilmektedir.

2. Malzeme Seçimi

İnsanoğlunun doğal malzemelerle (ağaç, taş ve çakmaktaşı gibi) başlayan serüveni, yerini önce bakır ve bronz ardından da demire bırakmıştır. 17. yüzyılın ortalarından itibaren günümüze kadar geçen sürede ise mühendislerin kullanabileceği malzeme çeşidi 120.000'in üzerine çıkmıştır ve her geçen gün bu sayı hızla artmaktadır. Bu durum malzeme seçimini oldukça zor bir problem haline getirmektedir [3,6].

Makineler, onlarca hatta binlerce ayrı parçadan meydana gelmektedir: bir traktörde 15000-20000, bir otomobilde 20000-25000, bir denizaltında 100000 parça [7]. Dolayısıyla, her biri çok önemli görevleri meydana getiren bu parçalar için malzeme seçimi, can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından çok önemlidir.

Statik dayanım, yorulma dayanımı, korozyon direnci, aşınma direnci, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük sıcaklıkta gevrekleşmeme, üretilebilirlik, maliyet ve görünüm kadar hafiflik de malzeme seçiminde önemli bir faktördür [1].

Malzeme karakterlerinin iyileştirilmesi, bir ağırlık azaltma yöntemidir. Örneğin dökme demirlerin dayanım ve süneklik özelliklerini, grafitin büyüklüğü ve şekli etkilemektedir. Ostemperlenmiş dökme demirler küresel grafit ve beynitik matrisli olmalarından dolayı çok iyi mekanik özelliklere sahiptir. Ayrıca az alaşımlı bir malzeme olduğundan dolayı oldukça ucuzdur [3].

Ayrıca, malzeme seçiminde dayanım, süneklik, uygun çalışma sıcaklığı, kırılma tokluğu, yorulma çatlak ilerlemesi gibi çok önemli faktörlerin yanı sıra, malzemenin yoğunluğu ve maliyeti de göz önüne alınmalıdır [3]. Malzemelerin yoğunluğu, ağırlığın azaltılması için gerekli faktörlerden birisidir.

Alüminyum alaşımları çeliklere nazaran düşük yoğunluğu, hafifliği, yüksek dayanım ve tokluğu, iyi korozyon özellikleri, yaşlandırma ile dayanımının artırılabilirliği gibi özelliklerinden dolayı özellikle otomotiv, havacılık ve savunma sanayinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır [8,9,10]. Özellikle otomotiv sektöründe uygulama alanı bulan yarı katı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımlarında %50 oranında mukavemet artışı sağlanabilmektedir. Yine yarı katı döküm ile ince ve küresel taneli olarak elde edilebilen A356 malzemesinden üretilen parçaların yorulma dayanımlarında R=-1 şartlarında önemli ölçüde artış sağlanabilmektedir [11].

Magnezyum alaşımlarının özgül dayanım ve özgül rijitlik değerleri (çelik ve çinkoya nazaran %75, alüminyuma nazaran %33 daha hafif) alternatif olduğu diğer malzemelerle mukayese edildiğinde tercih edilebilmektedir. Magnezyum alaşımlarının kullanılmasıyla, otomotiv parçalarında %22-%70 ağırlık kazancı sağlanabilmektedir [12].

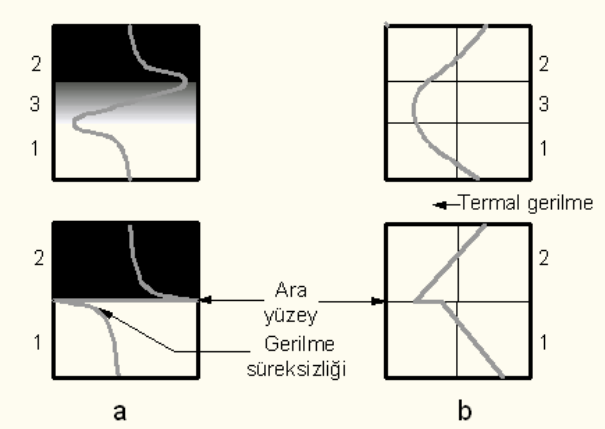
Polimer esaslı malzemeler hafif ve ucuzdur. Ayrıca, metal ve seramiklere oranla daha kolay üretilebilirliği olan malzemelerdir. Ancak dayanım gerektiren yapısal uygulamalarda kullanılamamaktadır [3]. Polimer malzemelerle ilgili son zamanlarda yapılan çalışmalarla birlikte kullanım alanları giderek artmaktadır. Polimer esaslı malzemeden yapılan yatak ve keçeler, hareketli metal parçalar arasında metal-metal temasını önlemek için hidrolik/pnömatik silindirlerde, aktüatörlerde ve vanalarda gün geçtikçe daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Bu yataklar, kriyojenik ortamlardan yüksek sıcaklık uygulamalarına, vakum ortamından yüksek basınca, statik veya yüksek hızda kullanıma uygundur. Ayrıca kendi kendine yağlama, korozyon direncinin iyi olması, düşük sürtünme ve düşük aşınma değerleri gösterirler [13].

Seramikler düşük yoğunluk ve yüksek bası dayanımına sahiptirler. Yüksek sıcaklıklara dayanabilen, sert ve aşınmaya dayanıklı malzemelerdir. Seramik malzemelerin yakın gelecekte çok önemli yapısal malzemeler olması beklenmektedir. Diğer taraftan, kırılma tokluğunun düşük olması ve üretim maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle, endüstri tarafından mühendislik seramiklerinin kabul ve kullanımı beklenenden daha düşük olmuştur [3]. Çeliklere oranla daha düzgün yüzey, daha az sürtünme, aşınma ve pitting oluşumu, daha az bilye deformasyonu, daha düşük termal genleşme katsayısı, daha hafif, daha sert ve daha rijit olmalarından dolayı Si_3N_4 bilyeler rulmanlı yatakların performansını arttırmak için kullanılmaktadır [14]. Seramik malzemeler, özellikle kompozit malzemelerde güçlendirici partikül, fiber vb. olarak kullanım alanı bulmaktadır. Günümüzde havacılıkta kullanılan motorlarda, 12 μm'den küçük boyuttaki SiC ile güçlendirilmiş 2000 ile 6000 serisi alüminyum matrisli kompozitlerin kullanım potansiyeli oldukça yüksektir [8].

Seramik/metal kombinasyonlarla üretilen kompozit malzemeler, yüksek sıcaklıklarda termal yüklere, yüksek ve periyodik sıcaklık değişimine maruz kalan nükleer reaktör ve yüksek hızlı hava taşıtlarının basınçlı kap ve boru gibi yapısal parçalarında kullanılmaktadır. Bu tür uygulamalarda, metal-seramik kompozitleri, tek bir malzemede bulunması muhtemel olmayan optimum özellikleri sağlayabilmesi nedeniyle büyük ölçüde kullanılmaktadır [2].

Daha çok, yapı veya malzemenin kimyasal düzeninin mühendislik yaklaşımıyla yeniden düzenlenmesi ile elde

edilen fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeler (FDMler) farklı ve ilk bakışta birbirine aykırı gereksinimlerin bir arada istendiği, örneğin yüksek sertlik ve yüksek tokluk istenmesi gibi durumlarda çok faydalı olmaktadır. FDMler kaplama olarak kullanılabildiği gibi, iki malzeme arasında geçiş bölgesi olarak yani tampon bölge olarak da kullanılabilmektedir. İki ayrı malzeme arasında ki gerilme dağılımı ve ısıl özelliklerde oluşabilecek süreksizlikler azalmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. Termal gerilmelerin seramik-metal kaplama ve seramik-metal derecelendirilmiş yapı içerisinde göstermiş olduğu değişim (1: Metal malzeme; 2: Seramik kaplama; 3: FDM ara geçiş bölgesi) [4, 5]

Teknik olarak, ayrı bir malzeme grubu olarak değerlendirilmeyen FDM konsepti kullanılarak farklı özellikteki malzemelerin bütünleştirilmesi, başarılı bir şekilde gerçekleştirilmektedir [15,16]. Bu uygulamalarda, FDMlerin metalce zengin bölgesi düşük sıcaklıkta çalışırken, yüksek sıcaklığa sadece seramikçe zengin olan bölgesi maruz kalmaktadır. Gelişmiş hava taşıtı ve uzay araçları, bilgisayar ve elektronik uygulamaları, medikal implantlar ve optik aygıtlarda, bu üstün özellikleri sayesinde uygulama alanı bulmaktadır [2, 15, 16].

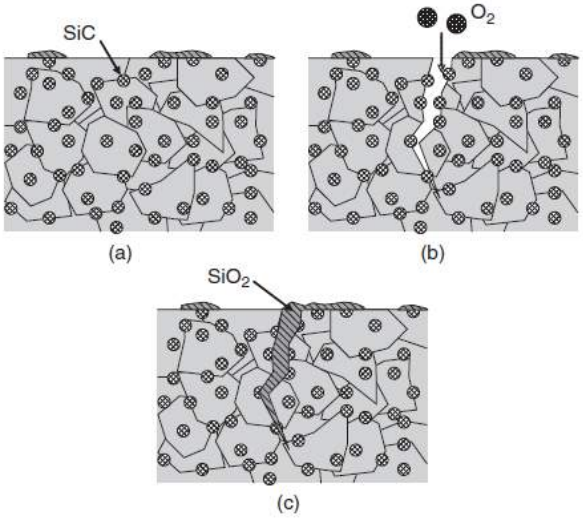
Alüminyum matrisli FDMler ile ilgili araştırmalar son zamanlarda oldukça fazladır. Alüminyum alaşımları, süneklik ve sertlik, geliştirilmiş dayanım ve rijitlik kombinasyonu nedeniyle metal matrisli kompozitler için matris malzemesi olarak çok tercih edilmektedir [8, 17]. Güçlendirici seramik malzemeler fiber, kısa fiber, whiskers ve partikül halinde olabilmektedir. Güçlendirici seramik partikül olarak SiC, Al_2O_3, TiC, B_4C, TiB, WC en çok tercih edilen seramik esaslı malzemelerdir. SiC partikülleri yüksek sertlik ve aşınma direncinin yanı sıra ucuzluğundan dolayı da en fazla tercih edilen takviye malzemesidir [8, 10, 17].

Sistemin ısıl verimliliğini arttırarak çalışma sıcaklığını yükseltmek, korozyon, oksitlenme ve aşınmayı önlemek amacıyla kullanılan kaplamaların, altlık malzeme ile termal ve mekanik özelliklerinin uyumsuzluğunu ortadan kaldırmak amacı ile FDM malzemeler kullanılmaktadır. Konu ile ilgili araştırmalar, gün geçtikçe artarak devam etmektedir [2,8,18,19]. Derecelendirilmiş malzemeler için çeşitli üretim yöntemleri mevcuttur: Toz metalurjisi, termal sprey kaplama, kimyasal buhar biriktirme (CVD), fiziksel buhar biriktirme (PVD), yanma sentezi (SHS) ve santrifüj döküm vb. dir.

Nanokristaller, nanopartiküller, nanotüpler, nanoteller, nanoçubuklar veya nano ince filmler son yıllarda büyük bir gelişme göstermektedir. Bu konunun ilgi çekmesinin nedeni, maddelerin belirli boyut aralığında olağandışı özellikler ve işlevsellik sergilemeleridir [20]. Ti ve Ti alaşımları özgül dayanım ve iyi kimyasal direnc sahiptirler. Bununla birlikte mekanik ve ısıl direnç özellikleri çelik ile nikel alaşımlarına nazaran düşüktür. SiC (parçacık veya elyaf) ile güçlendirilmiş titanyum kompozitler ise mükemmel özelliklere sahiptir. Nanotüpler ile takviye edilmiş titanyum alaşımları ise çok daha iyi performans göstermektedir [21].

Nanometre büyüklüğünde kapsüller içeren ve kendi kendini tamir etme özelliğine sahip malzemeler de önemli bir araştırma konusudur. Şekil 2'de kendi kendini tamir mekanizması şematik olarak görülmektedir. Akıllı malzemelerin bir alt sınıfı olan bu malzemeler, biyolojik sistemler özellikle de insan derisi örnek alınarak geliştirilmiştir. Parça ömrünü uzatmak amacıyla, mikroskobik düzeydeki çatlaklar ve diğer hasarları tespit ederek onaran nano-kapsüller yataklar için muhtemel uygulama alanlarından bir tanesidir [22, 23].

Gevrek polimerler ve yapısal kompozit malzemeler, tekrarlı termomekanik yüklemeye maruz kaldıklarında mikroçatlak oluşumuna duyarlı haldedirler. Bu mikroçatlaklar, fiber ile matrisi bağlayan ara yüzeyde açılmalara neden olabilir [24]. Kendi kendini tamir eden polimer malzemelerin geliştirilmesiyle, mikroçatlaklar tamir edilebilir [25].



Şekil 2. Kendi kendini tamir mekanizması [22]

3. Üretim yöntemleri ve Yüzey İşlemleri

Malzemelerin üretim yöntemleri ve ısıl işlemler malzemelerin içyapısını ve mekanik özelliklerini etkilemektedir.Yeni malzemelerin hızla geliştirilmesi, çeliklerin artık kullanılmayacağı anlamına gelmemektedir. Çelikler hala, özellikle araçlarda, alternatif malzemelerle karşılaştırıldıklarında üretimleri için daha az enerji gerektirmesi, yüksek dayanımları ve yeniden kullanıma uygunlukları dolayısıyla tercih edilmektedirler. Çeliklerin vazgeçilemez malzeme olmalarından dolayı, üretim ve ısıl işlemleriyle ilgili çalışmalar hızla devam etmektedir. Araçlarda dayanım, rijitlik ve aynı zamanda ağırlık azaltımı, kullanım ve güvenlik konusunda artan ihtiyaçlardan dolayı,

HSS çeliklerinin kullanımı 2005 yılından itibaren ikiye katlanmıştır. 2020'ye kadar HSS çeliklerinin kullanımının üçe katlanması öngörülmektedir [26].

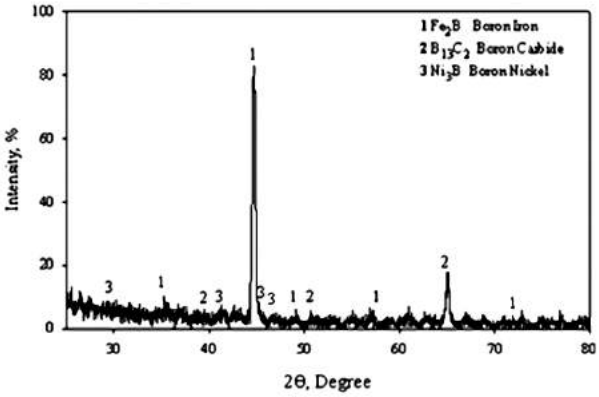
Demir olmayan metal ve alaşımlarla ilgili özellikle döküm yöntemiyle ilgili pek çok araştırma yapılmaktadır. Dövme yöntemiyle üretilen parçalar, dökümle üretilenlere oranla çok daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir, ancak döküm yöntemi genellikle çok daha ucuzdur. Yüksek kaliteli ve hatasız mikro yapılı ürünlerin düzgün bir şekilde üretilebilmesi için yarı katı döküm yöntemleri geliştirilmiştir [27]. Yarı katı döküm yöntemleriyle, geleneksel döküm yöntemlerine kıyasla, bazı alüminyum alaşımlarında %50'ye varan dayanım artışı elde edilebilmektedir. Bu yöntemlerle daha düzgün döküm yüzeyi, daha az porozite ve daha uzun kalıp ömrü elde etmek mümkündür. Ancak, alüminyum 2024 alaşımında yarı katı dökümle üretilen ve T6 yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmış numunelerin mekanik özellikleri ekstrüze haldeki numunelere yakın olduğu, ancak ektrüze edilmiş ve T6 ısıl işlemi görmüş numunelerden daha düşük olduğu belirlenmiştir [28]. Farklı işlem parametreleri kullanılarak ve yöntem sentezleri yapılarak çalışmalar devam etmektedir.

İnce taneli ve düşük poroziteli bir döküm yapısı özellikle otomotiv motor silindir kafaları için önemlidir. Kalıcı kalıp kullanılarak, katılaşmanın ve kalıp dolumunun optimum olarak yapılabileceği, türbülanssız ve öngörülen malzeme özelliklerinin elde edilebileceği bir döküm yöntemi olarak Rotacast® döküm tekniği geliştirilmiştir [11]. Yine demir olmayan metal ve alaşımları için dövme döküm yöntemiyle, daha ince taneli homojen bir mikroyapı elde edilebilmektedir.

İstenilen özellikleri elde etmek için, katı metal ve alaşımlarına uygulanan ardışık ısıtma ve soğutma işlemlerine ısıl işlemler denilir [29]. Isıl işlemler, çoğu malzeme için üretim aşamalarından bir tanesidir. Alüminyum, titanyum ve nikel alaşımlarında kontrollü bir ısıl işlemler ile elde edilen çökeltiler ile malzemelerin dayanımları artar. Çeliklerinde dayanım ve tokluk özellikleri ısıl işlemler ile dengelenebilir. Difüzyon ile yüzeyin kimyasal yapısı değiştirilerek yapılan sertleştirme işlemlerine kabuk sertleştirme, yüzeyin kimyasal özelliklerini değiştirmeden yapılan sertleştirme işlemlerine yüzey sertleştirme işlemleri denilir [30]. Yüzey sertleştirme işlemleri malzemelerin yüzeyden başlayan hasarlarını engellemek için önemlidir. Alevle yüzey sertleştirme, indüksiyonla sertleştirme ve lazer ile yüzey sertleştirilmesi en yaygın olarak kullanılanlardır [6].

Karbürleme, nitrürleme, borlama vb. yüzey sertleştirme işlemleri C,N,B atomlarının malzeme yüzeyine difüzyonu ile gerçekleşir. Borlama işlemi; sementasyon çeliklerine, ıslah çeliklerine, takım çeliklerine, paslanmaz çeliklere, dökme çeliklere, dökme demirlere, sinterlenmiş metal tozlarına, nikel, kobalt, molibden ve titanyum gibi demir dışı metallere ve alaşımlarına uygulanabilmektedir [31]. Borlama ile elde edilen kabuk incedir ve bor tabakasının kendi içerisinde oluşan fazlar farklı özelliklerde olabilir. Ayrıca çok yüksek kabuk sertlik değerlerinden çok daha yumuşak olan çekirdek sertliğine geçişin ani olması nedeniyle kabuk tabakada çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklar, yüzeyden pullanma şeklinde dökülmelere yol açarlar, bundan dolayı ağır ve darbeli yük altında çalışan parçalarda borlamanın kullanımını kısıtlar. Bor tabakasının mekanik özelliklerini iyileştirebilmek, özellikle de kırılganlığını azaltabilmek için tek fazlı Fe_2B fazı oluşturmak veya çok bileşenli (multicomponent) bor tabakası oluşturmak gerekir. Ayrıca lazer ısıl işlem işlemleri (LHT) ile de bor tabakasının sertliği azalmadan kırılganlığı azaltılabilmektedir [32].

Çok bileşenli borlama ile elde edilen tabaka kalınlıkları ve geçiş bölgesinin sertliği daha yüksek olmakta; matris yapı ile bor tabakasının sertliği arasındaki fark daha yumuşak bir geçiş ile sağlanmaktadır [32]. Bor tabakasının kırılganlığı, bor elementinin N, Cu veya Ni gibi diğer elementlerle bileşik oluşturmasıyla azaltılabilir. Oluşan çok bileşenli tabaka, çekirdek yapıya çok iyi yapışmaktadır [33]. Borsilisyumlama, boralüminyumlama, borkromlama, boralüminyumlama, borkromtitanyumlama, borvanadyumlama ve borkromvanadyumlama, borkarbürleme, borkarbonitrürleme ve borodekarbürleme çok bileşenli borlama teknikleri olarak sıralanabilir [31, 32, 34,35,36,37,38]. Şekil 3'de borodekarbürleme işlemi ile elde edilen tabakanın XRD analizi görülmektedir [38].



Şekil 3. AISI 8620 çeliğinde bordekarbürleme işlemi sonrası elde edilen tabakanın XRD analiz sonuçları [38]

4. Sonuç

Var olan malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve yeni malzemelerin özelliklerinin belirlenerek uygun alanlarda kullanıma alınması konuları önem taşımaktadır. Malzeme bilimi ve üretim mühendisliği bu konularda çalışmalarına devam etmektedirler.

Tasarımcı mühendisin, tasarımı için en uygun malzemeyi seçebilmesi de artan çeşitlilikle birlikte daha zor bir hal almaktadır. Tasarımı yapılan parçanın kullanım yeri, istenen dayanım, can ve mal kaybı için arzettiği önem ve maliyeti şuanda tasarım ve malzeme seçiminde en önemli faktörler olarak görülmektedir. Ancak, yüksek dayanım, yüksek tokluk, kolay üretilebilirlik ve düşük maliyet özelliklerinin hepsine sahip bir malzeme henüz üretilememiştir.

Kaynaklar

[1] Can, A.Ç., Tasarımcı mühendisler için malzeme seçimi, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2006.
[2] Cirakoglu, M., Processing and characterization of functionally graded titanium/titanium boride/titanium diboride composites by combustion

synthesis/compaction and microwaves, Ph.D. Thesis, University of Idaho, USA, 2001.
[3] Wojciechowski, S., New trends in the development of mechanical engineering materials, Journal of Materials Processing Technology, 106, pp. 230-235, 2000.
[4] Tilbrook, M. T., Moon, R. J., and Hoffman, M., Crack propagation in graded composites, Composites Science and Technology, 65, pp. 201–220, 2005.
[5] Cho, J. R., and Oden, J. T., Functionally graded material: a parametric study on thermal-stress characteristics using the crank-nicolson-galerkin scheme, Comput. Methods Appl. Mech. Engrg., 188, pp.17-38, 2000.
[6] Ashby, M.F., Materials selection in mechanical design, Butterworth-Heinemann, Linacre House, Jordan Hill, Oxford ,Third edition, 2004.
[7] Fındık, F., Malzeme seçimine genel bakış, Mühendis ve Makina, 50, 591, pp. 25-31, 2009.
[8] Chawla, N., and Chawla, K.K., Metal matrix composites, Springer Science + Buisiness Media, New York, USA, pp. 33–55, 2006.
[9] Dikici, B., Gavgali, M., ve Tekmen, C., Corrosion behavior of an artificially aged (T6) Al-Si-Mg based metal matrix composite, Journal of Composite Materials, 40 (14), pp. 1259-1269, 2006.
[10] Cantor, B., Dunne, F., ve Stone I., Metal and ceramic matrix composites, An Oxford–Kobe Materials Text, Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia, UK, 2004.
[11] The aluminum automotive manual, European Aluminium Association, http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2012/01/AAM-Manufacturing-1-Casting-methods.pdf
[12] Mert, F., Özdemir, A. And Karataş, Ç., Magnezyum Alaşımlarının Basınçlı Döküm Yöntemiyle Kalıplanabilirliğinin Değerlendirilmesi, Politeknik Dergisi, 13, 3, pp. 165-176, 2010.
[13] Tetralon polymer bushings & bearings, http://www.coorstek.com/resource-library/library/8510-1793-Tetralon-Polymer-Bearings-Bushings.pdf
[14] Cerbec ceramic balls, http://www.coorstek.com/resource-library/library/8510-1719-Cerbec_Ceramic_Balls_Brochure.pdf
[15] Koizumi, M., The concept of FGM, Ceram. Trans., Funct. Gradient Mater., 34, pp. 3–10, 1993.
[16] Wessel, J. K., Handbook of advanced materials: enabling new designs, Wiley-Interscience Publication, pp. 465-487, 2004.
[17] Miracle, D. B., and Donaldson, S. L., ASM Handbook, V.21: Composites, ASM International, pp. 2375-2387, 2001.
[18] Uluköy, A., Santrifüj döküm ile üretilmiş fonksiyonel derecelendirilmiş malzemenin fretting yorulması davranışının deneysel ve nümerik analizi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2011.
[19] Ulukoy A., Topcu M., Tasgetiren S, The effect of aging treatments on wear behavior of aluminum matrix functionally graded material under wet and dry sliding conditions, Materıalwıssenschaft Und Werkstofftechnık, 42, pp. 806-811, 2011.
[20] Gürmen, S. and Ebin B., Nanopartiküller ve üretim yöntemleri – 1, Metalurji, 150, 08, 2008.
[21] Kuzumaki, T., Ujiie, O., Ichinose, H. and Ito, K., Mechanical characteristics and preparation of carbon nanotube fiber-reinforced ti composite, Advanced Engineering Materials, 2, 7, pp. 416-418, 2000.
[22] Ghosh, S. K., ed., Self-healing Materials: Fundamentals, Design Strategies, and Applications, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.KGaA, Weinheim, 2009.
[23] http://phys.org/news168525937.html
[24] Kessler, M.R., Sottos, N.R. and White, S.R., Self-healing structural composite materials, Composites Part A: applied science and manufaturing, 34, 8, pp. 743–753, 2003.
[25] White, S.R., Sottos, N.R., Geubelle, P.H., Moore, J.S., Kessler, M.R., Sriram, Brown, E. N. and Viswanathan, S., Autonomic healing of polymer composite, Nature, 409, pp. 794–797, 2001.
[26] Van der Wiel, J.W., Future of Automotive Design & Materials: Trends and Developments in Design and Materials,ATC, http://www.acemr.eu/uploads/media/Trendstudy_ACEMR_Designmaterials_01.pdf
[27] Rosso, M., Thixocasting and rheocasting technologies, improvements going on, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 54, 1, pp. 110-119, 2012.
[28] Taneroğlu, H., Akar, N. ve Kılıçlı, V., Tikso-döküm yöntemiyle üretilen al2024 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 28, 4, pp. 803-809, 2013.
[29] Metals Handbook Desk Edition, Glossary and Terms, Part I General Information, ASM International, Edited by J. R. Davis, pp. 3–141, 1998.
[30] "Demir ve Çelikler- Isıl İşlem Terimleri Sözlüğü", TS 1112 EN 10052/Nisan, 2002.
[31] Özbek, İ., Borlama yöntemiyle (AISI M50, AISI M2) yüksek hız çeliklerinin ve AISI W1 çeliğinin yüzey performanslarının geliştirilmesi, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 2000.
[32] Kulka, M. ve Pertek, A., Microstructure and properties of borided 41Cr4 steel after laser surface modification with re-melting, Applied Surface Science, 214, pp. 278–288, 2003.
[33] Balandin, Y. A., Boronitriding of die steels ın fluidized bed, Metal Science and Heat Treatment, 46C:s. 385–387, 2004.
[34] Sinha A.K., Boronizing, Heat Treating, Bl.2., ASM Int, pp. 437–447, 1991.
[35] Şen, Ş., The characterization of vanadium boride coatings on AISI 8620 steel, Surface & Coatings Technology, 190, 1, pp. 1-6, 2004.
[36] Uluköy, A., 21 NiCrMo2 (AISI 8620) Çeliğinden yapılmış dişli çarklara karbürleme ile beraber borlama işleminin uygulanması, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2005.
[37] Maragoudakis, N. E., Stergioudis, G., Omar, H., Paulidou, E. and Tsipas, D. N. Boro-nitriding of steel US 37–1, Materials Letter, 57, pp. 949–952, 2002.
[38] Ulukoy, A., Can, A. C., Ozmen, Y. and Tasgetiren, S., Borocarburizing of decarburized gears made from 21NiCrMo2 (AISI 8620) stee", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications, first published on October 24, 2013 as doi:10.1177/1464420713509560, 2013.

ARTCAM İLE KEMER DESEN KALIBI TASARIM VE ÜRETİMİ

BELT PATTERN MOLD DESİGN AND PRODUCTION WITH ARTCAM

Halil İbrahim DEMİRCİ
Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Karabük, Türkiye, E-posta: hdemirci@karabuk.edu.tr

Özet

Günümüz dünyasında moda kavramının sürekli değişim olarak algılanması, sektörde yeni tasarım ve üretim metotlarına olan ihtiyacı artırmıştır. Saraciye sektörüde bu kavramdan etkilenen ve ürün çeşitliliği gerektiren bir sektör haline gelmiştir. Değişen piyasada kalmak için yeni üretim teknolojileri kullanarak sürekli yeni modeller geliştirerek, yüksek kaliteli ürünlerin ortaya konmasına ihtiyaç vardır. Bu çalışmada piyasada aktif olarak kullanılan deri üzerine baskılı olarak şekillendirilen kemer kalıp tasarım ve üretimi incelenmiş ve gelişen teknoloji kullanılarak örnek bir tasarım gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: ArtCAM, CNC, Kemer kalıp tasarımı, kalıp üretimi

Abstract

In today's world, constant change in the perception of the concept of fashion in the industry increased the need for new methods of design and production. Saddlery affected by this concept in the industry and has become an industry that requires a variety of products. Changing to stay in the market using new production technology constantly developing new models, high quality product needs to be demonstrated. In this study, as printed on the leather used in the market actively shaped mold design and manufacturing belt is examined and a sample design was conducted using emerging technologies.

Keywords: ArtCam, CNC, belt mold design, mold manufacturing.

1. Giriş

Günümüzde teknolojinin çok hızlı bir şekilde gelişme kaydetmesiyle getirmiş olduğu yenilikler insan hayatının bir parçası olmuştur. Bu yenilikleri insanlara sunma ve bunlardan insanları haberdar etme bir zorunluluk haline gelmiştir. Dünyada iletişimin çok artması ile beraber insanlar değişik dünya pazarlarına yönelmiştir. Bir ürünü daha kaliteli ve ucuza imal etmek rekabet piyasasında bir zorunluluk haline gelmiştir. Bunun içinde CAD CAM teknolojisini kullanarak üretim yapmak zorunlu hale gelmiştir [1].

Kemer, kalın kumaş, metal veya deriden yapılan ve giyilen kıyafeti belden sıkıp tutmak için ya da sadece süs amacıyla kullanılan, bele dolanarak toka vb. materyallerle iki ucu birbirine tutturulan giyim aksesuarıdır. Özellikle günümüzde giyimi tamamlayan bir aksesuar olarak görülmekte ve kullanılmaktadır. Giyimdeki rolü büyüktür. Kemer kullanırken, hatta kemer tasarım aşamasında iken moda giyim ve diğer kullanılan aksesuarlarla uyum içinde olması beklenir. Giyimle uyum içinde olan bir kemer giysiye hoş, şık görünüm kazandırır. Bu nedenle kemer modeli seçerken bazı hususlara dikkat etmek gerekir. Bunlar; Kişinin fiziki yapısı ve yaşı, birlikte kullanılacak kıyafete uyumu, kullanılacak yer, zaman ve günün modasıdır [2].

Bir kemer tasarımı gerçekleştirilirken müşteri ihtiyaçları, pazar durumu, kemerin kullanım amacı, günün modası düşünülerek tasarım yapılmalıdır. Kemer, uçluk, dil yuvası, tokalık, köprü ve toka dili kısımlarından oluşur. Her kısım ayrı ayrı tasarlanıp üretim yapılır. Kemerin en göz alıcı kısmı deri üzerine işlenen desenidir. Özellikle saraciye sektöründe moda unsurunun önemli bir rol oynaması, ürünlerin sürekliliğinin olmamasına ve ürün çeşitliliğinin artmasına neden olmakta, bu da üretimde esnekliğe ihtiyaç doğurmaktadır. Model çeşitliliği rekabet gücünü artırmaktadır. Tasarımın amacı, model oluşturmanın yanı sıra estetik ve kaliteyi en üst düzeye çıkarmaktır. Tasarım sürekli değişim, sürekli yenilenmeyi gerektiren bir alandır ve tasarlama işi eylemi oluşturacak yapının ürün ile ilgili her türlü faaliyeti içine almalıdır [3].

Kemer tasarımının modaya uyum sağlaması amacıyla değişik amaçlarla kullanılan kemer türleri ortaya çıkmıştır. Bunlar giyim çeşidine ve kullanıldığı yere göre değişmekte, fantezi kemerler, spor kemerleri gibi isimlerle anılmaktadır. Tasarımda en önemli etken günün modasını yakalamaktır. Üreticiler genelde hazır modeller kullanmakta veya tutulan modelleri taklit etmektedirler. Modanın sürekli değişim göstermesi sonucu ürün ömürleri sınırlı olmakta ve yeni tasarımlara ihtiyaç duyulmaktadır.

Tasarımda CAD ve CAM'in kullanılması kaçınılmaz hale gelmiş ve pek çok faydası bulunmaktadır. Ancak bunlardan sadece bazıları kolaylıkla ölçülebilir. Örneğin, iş kalitesinin gelişmesi, daha kullanışlı bilgi, kontrolünün gelişmesi gibi belirli bir miktar ile belirlemenin güç olduğu soyut faydalarının yanında bazı faydaları ise somuttur. Fakat bunlardan sağlanan faydaları üretim prosesinden bulup çıkarmak ve dolayısıyla tasarım aşamasında bunları para miktarı ile ifade etmek güçtür [4, 5].

2. Materyal ve Yöntem

Bu kısımda kemer deseni oluşturulması, kemer üzerine yerleştirilmesi, kemer kalıbı tasarımı ve bir kemerin yapımında geçirdiği aşamalar sırasıyla gerçekleştirilecektir.

Kemer kalıp malzemesi olarak prinç seçilmiştir. Kemer kalıbının tasarım aşamasında ArtCAM kullanılmıştır. ArtCAM programı genellikle dericilik (kemer kalıbı gibi) ve kuyumculuk sektöründe kullanılan bir programdır. Bu yazılım mühendislik bilgisi gerektirmeden, 2 boyutlu

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

çalışmalardan, otomatik olarak 3 boyutlu rölyefler oluşturabilen artistik, ilk bilgisayar destekli tasarım ve üretim paketidir. Klasik CAD/CAM yazılımlarında modellenmesi ve üretilmesi son derece zor olan gravür, desen ve rölyef modelleri kolaylıkla ve hızlıca bu programda üretilebilir. Oluşturulan rölyefler yüksek hızlı CNC tezgahlarında ürün, kalıp veya prototip amaçlı olarak kullanılabilmektedir. Ayrıca hazırlanan modeller CNC, lazer veya prototip yöntemleri kullanılarak üretilebilmektedir. ArtCAM'in sağlamış olduğu en önemli özellik bu üç üretim yöntemini de herhangi bir işlem gerektirmeksizin aynı arabirim içerisinden kontrol edilebilmesidir.

2.1. Desen Tasarımı ve Yerleştirilmesi

Tasarım aşamasında en önemli unsur desen seçimi veya oluşturulmasıdır. Desen seçiminde; kemerin kullanılma amacı, bayan veya erkek kemeri olacağı, kullanılma yeri ve günün modası göz önüne alınmalıdır. Bayan kemeri olarak hazırlanan desen tasarımı Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1. Tasarım için oluşturulan kemer deseni

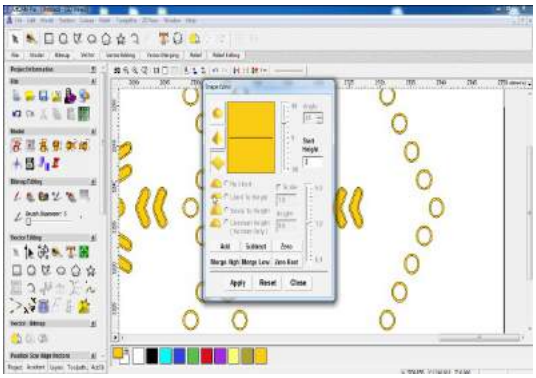
Bu aşamada tasarlanan veya seçilen desenin kemer üzerine nasıl bir tasarımla yerleştirileceği önem kazanmaktadır. Şekil 2'de kemer seçilen desenin yerleştirilmiş hali görülmektedir. Kemer bir bütün olarak ön görünüş olarak çizilir ve burada ön tarafa gelecek kısmı ve tekrar edecek kısımları birbirinden ayrılır.

Şekil 2. Tasarlanan desenin kemer kalıbı üzerine yerleştirilmesi

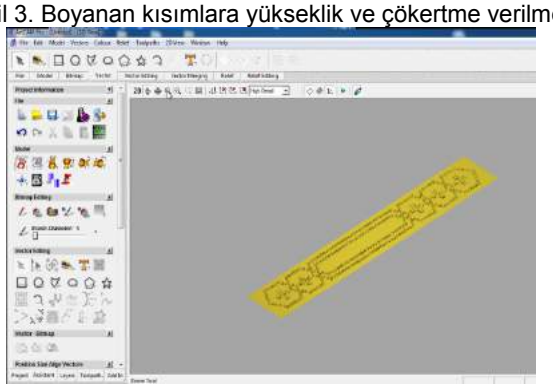
Kemer üzerinde yer alacak ve üretilmesi istenen desen tasarlandıktan sonra CAM verileri çıkartılarak gerekli işlemler uygulanmalıdır.

ArtCAM'e yüklenen tasarımın tamamı seçme işlemine tabi tutulur. Böylelikle tasarıma çökertme ve kabartma yani sahneleme işlemleri katılabilir. Şekil 3'de görüldüğü üzere tasarımın boyanması için tümü veya bir kısmı seçilir. Bu aşamada Relief, Vector ve boya kutusuna basılarak tasarım üzerinde her yer boyanabilir. Çizim içine çift tıklanarak çökertme veya kabartma verilecek bölgeler seçilebilir ve Star height : 2 (yükseklik) verilir.

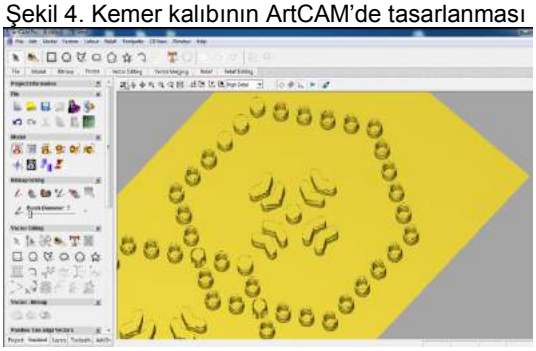
Shape Editor kutusunda yapılan ayarlardan sonra Apply komutu ile aşağıdaki Şekil 4 ortaya çıkartılır. Desen üzerinde istenen yerlerde yükseltme (Add) veya gereken yerlerde içeriye doğru küresel çökertme (Subract) işlemi yapılır. İşlem görecek bölgelere küresel çökertme verebilmek için Relief, Vector ve boya kutusuna tıklanarak işleme devam edilir. Çizim içine çift tıklanarak Shape editor kutusu getirilir, buradan küre şekline tıklanıp Angle (açı): 25º verilir ve daha sonra Subract (çıkartma) komutu verilerek Apply (uygula) komutuna tıklanır. Uygulama sonucu Şekil 5 ve 6'da görülmektedir.



Şekil 3. Boyanan kısımlara yükseklik ve çökertme verilmesi

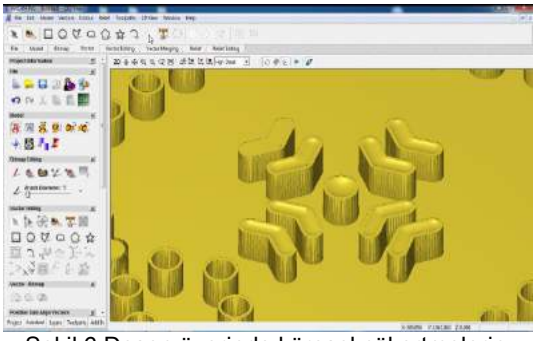


Şekil 4. Kemer kalıbının ArtCAM'de tasarlanması

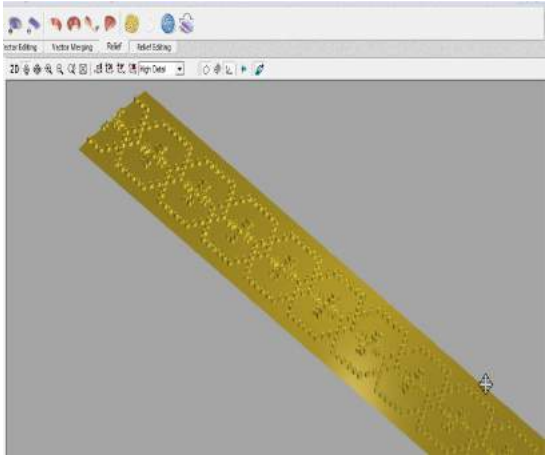


Şekil 5. Desen üzerinde yükseltmelerin yapılması

Kemer deseni üzerinde yükseltme ve çökertmeler desenin istendiği kısımlarında bölüm bölüm yapılarak daha sonra birleştirilebilir veya aynı olan desen bölümleri copy-paste yapılarak birbirine eklenebilir. Şekil 7'de katı modeli bitirilmiş kemer kalıbı görülmektedir.



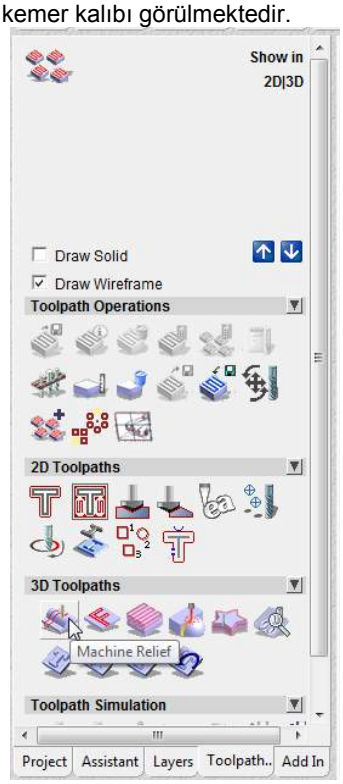
Şekil 6.Desen üzerinde küresel çökertmelerin oluşturulması



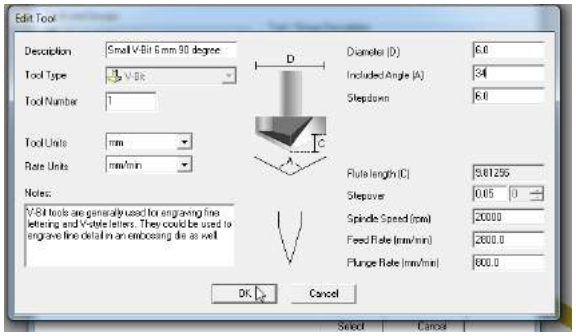
Şekil 7. Katı modeli tamamlanmış kemer kalıbı.

3. Takım Yolunun Oluşturulması ve Kalıp Üretimi

Kalıbın CNC makinasında işlenebilmesi için takım yolunun oluşturulması gereklidir. Project information kutusunda Tool path komutuna tıklanarak Şekil 8'deki kutu çağrılır ve buradan Machine Relief komutuna tıklanarak takım seçme aşamasına geçilir. ArtCAM ile işleme zamanı takım hareketlerinin optimizasyonu yapılarak iyileştirilebilir. Ayrıca her yüzey için ayrı işleme stratejisi oluşturmakta mümkündür [6]. Takım seçme işlemi gerçekleştirilirken kalem ucunun nasıl seçilecegi önemlidir. Kemer deseni gibi ince hassas işlemelerde prinç malzeme için, elmas karbürden yapılmış kalem uzunluğu 130-135 mm olan ince uçlu kalemler tercih edilmelidir (Şekil 9). Takım seçimi yapıldıktan sonra malzeme seçimi yapılır. Material setup kısmına girilerek, malzeme kalınlığı ve boyutları belirlenir. Takım yolu oluşturulmaya başlanır. Şekil 10'da takım yolu oluşturulmuş kemer kalıbı görülmektedir.



Şekil 8. ArtCAM'de takım ayar menüsü.



Şekil 9. Kelem ayarlarının seçilmesi

Şekil 10. Takım yolunun oluşturulması hali

Takım yolunun kaydedilmesi ile G kodları çıkartılan kemer desen kalıbı üretime hazır hale getirilmiş olur. CNC makinesine aktarılan kodlar ile işlemeye başlanan kalıpların üretim süresi parçanın desenine göre hassas işlemeye tabi tutularak 24 ile 48 saat arasında değişmektedir (Şekil 11).

Şekil 11. Kemer desen kalıbının CNC tezgâhında işlenmesi

CNC tezgâhından çıkan kemer kalıbı önce polisaj ve ardından zımpara işlemine tabi tutularak temizlenir. Genelde üretilen kalıp uzunlukları 1200 mm- 1350 mm arasındadır. Bu işlemden sonra kemere parlaklık vermek ve ısıyı iyi iletmesi için numuneye önce bakır kaplama ve sonrada krom-nikel kaplama yapılır. Kaplanmış kemer kalıbı Şekil 12'de görülmektedir.

Hazırlanan kemer kalıbı pres tezgahının üst plakasına bağlanır. Kemer derisi ise alt plakanın üzerine düz bir şekilde yerleştirilir. Tezgâh çalıştırıldığında alt plaka önce ileri sonrada yukarı hareket eder. Bu esnada üst plaka sabittir ve kemer kalıbı, kemer derisini yakmayacak derecede ısıtılır. Alt plaka ile kemer kalıbı (üst plaka) arasında preslenen kemer derisine, kemer kalıbının yüzeyine işlenmiş olan motif şekli böylece geçer.

Elde edilen kemer kalıbı ile üretilen deri kemerler, toka deliği delme, delik delme ve uç kısmı kesme işlemlerini aynı anda yapan düzeneğe, yani haşhaşlama makinesine gönderilir. Buradaki işlemlerden sonra freze makinesinde kemerin her iki tarafının kenarları pürüzsüz, kaygan hale getirilir. Makinenin her iki tarafında bulunan bıçaklar arasına giren şerit, deriyi yanlarından keserek, artıkları temizler, kayganlık formu verir ve bombelik kazandırır. Kenar boyama işlemi yapılan kemerler kurutularak, tokaları ve köprülerin takılması ile kullanıma hazır hale getirilir (Şekil 13).

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada özgün bir desen geliştirilerek ArtCAM ile bayan kemer kalıbı tasarlanmış ve üretimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Kalıpçılık sektöründe CNC teknolojisinin kullanılması zaman ve ekonomik kazanç getirmiş, ayrıca diğer işleme yöntemlerine göre daha hesaplı ve kaliteli olduğu içinde daha çok tercih edilir hale gelmiştir. Özellikle modanın hızla değiştiği saraciye gibi sektörlerde kalıp üretimini kolaylaştırmış, istenen desenin daha kolay ve ekonomik olarak işlenmesi sağlanmış ve moda sektörünün ihtiyacının karşılanmasına önemli bir katkıda bulunmaktadır. Böylece kemer kalıpçılığı sac metal kalıpçılığı içinde yerini almış kemerlerin üretiminde CNC ile işleme temel bir yol haline gelmiştir.

Kemer kalıpçılığı diğer kalıplama metotlarından tek parça olması ile farklılık göstermektedir. Kalıbın tek parçadan oluşması üretimi de kolaylaştırmaktadır.

Şekil 12. Üretimi tamamlanmış Kemer Desen kalıbı

Şekil 13. Kemer kalıbı ile üretimi tamamlanmış kemerler.

Gelişen CNC teknolojisi ile modaya uyum sağlamak kolaylaşmış ve ürün çeşitliliği artmış ve maliyetler düşmüştür.

Kaynaklar

[1] Altınbaşak, O., Mikro denetleyiciler ve CAD/CAM Programlama, Atlas yayınları, ISBN 975-969-973-7, 237 s., İstanbul, 2000.

[2] http://hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/ayakkabi/moduller/kemer_yapma.pdf, 28.04.2014.

[3] http://ismek.ibb.gov.tr/ismek-el-sanatlari-kurslari/webedition/file/2013_hbo_program_modulleri/KemerTasarımı.pdf, 28.04.2014.

[4] http://www.dema3000.com/cad-cam-nedir.htm, 28.04.2014.

[5] http://www.cadcamsektoru.com/ansiklopedi/Cad-Cam-Sistemlerinin-Yapisi-ve-Tarihsel-Gelisimi-9205.htm, 28.04.2014.

[6] Matúš BEŇO, Martin KOVÁČ, Marek ZVONČAN, Jozef PETERKA, "CAM Strategies Possibilities in Sculptured Surface Machining Using ART CAD/CAM Software" http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2010/5/zvoncan.pdf, 28.04.2014.

YUVA KAPAĞININ ÜRÜN KALIPLAMA ANALİZİ VE KALIP TASARIMI

DESIGN ANALYSIS AND MOULD DESIGN OF HOUSING COVER PRODUCT

Cevdet GÖLOĞLU [a], Hakan MADEN [b], Ömer Şaban KAMBER [c]
[a] Karabük Üniversitesi, Makine Mühendisliği, 78050, Karabük, Türkiye, E-posta: cgologlu@karabuk.edu.tr
b, [c] İhlas Ev Aletleri, İstanbul, Türkiye, E-posta: hmaden@iea.com.tr; okamber@gmail.com

Özet

Endüstriyel ürünlerin tasarımı, yeni ürün geliştirme veya mevcut ürünün iyileştirmesiyle yapılmaktadır. Bu çalışmada ev aletlerinde su arıtma sistemlerinde kullanılan yuva kapağının yeniden tasarımı yapılarak kalıbının yapılış sistematiği verilmektedir. Parçanın kalıbı yapılmadan önce parçanın kullanıldığı yerin özelliklerine göre et kalınlığı belirlenmiş, hammaddesi dayanıklı olması, düşük su emme özelliği, kolay kayması gibi özelliklerden dolayı POM olarak belirlenmiştir. Kalıp tasarımı ve enjeksiyon parametreleri için Moldflow yazılımı ile analizler yapılmış, kalıp dolum süresi, ergiyik hammadde sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı, enjeksiyon basıncı, ergiyik hammadde sıcaklığı düşüşleri, kalıp baskı zamanı ve parça çekme verileri belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında kalıp tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yuva kapağı, su arıtma, kalıplama analizi

Abstract

Industrial product design is made with new product development or improvement of existing products. In this article it was intended to redesign housing cover that is used in water treatment systems in home appliances and mold making systematic is given. Before making the mold of the part, it is necessary to determine the wall thickness and its raw material according to the characteristics of location that part is used. It was determined that POM raw material must be used because of its durability, low water absorption and easy welding features. Moldflow software is used for analyses of mold design and injection parameters. As a result of these analyzes, the data about mold filling time, melt raw material temperature, mold temperature, injection pressure, temperature drops on melt raw material, mold cycle time, and part shrinkage was obtained. Based on these data mold design was realised.

Keywords: Housing cover, water treatment, molding analyses.

1. Giriş

Tasarım, gereksinimleri karşılamak amacıyla ilgili alan bilgisini kullanarak teknik, ekonomik, ergonomik vb. alanlarda eniyilemeyi gerçekleştirmek amacıyla yapılan akli bir teşebbüstür [1]. Tasarım aynı zamanda insan yaşamını ilgilendiren disiplinlerden (keşifler, bilim, sosyoloji, psikoloji, politika, sanat, üretim teknikleri vs.) etkilenen bir mühendislik etkinliğidir. Bunun ötesinde sistematik bakımdan tasarım, birbiriyle kısmi çelişen sınırlılıklar içinde verilen amaçların eniyilenmesidir [2-3]. Ürün tasarımı ve ürün geliştirme, kullanıcı gereksinimlerini ve endüstrinin gereksinimlerini karşılayan disiplinler arası bir etkinlik olmaktadır [4]. Endüstriyel ürünlerin tasarımı yeni ürün geliştirme kapsamında ele alınır [5]. Ürünün tasarımı Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) programları (SolidWorks, Pro/Engineer, CATIA, TopSolid, Unigraphics, vb.) vasıtasıyla yapılabilmektedir. Bu yazılımlardan SolidWorks, plastik parça tasarımcılarına ve enjeksiyon kalıbı üreticilerine tasarım sürecinin başında üretim hatalarını önleyebilecekleri, yenilikçi ve kolay kullanıma sahip bir araç sunmaktadır. Yazılım sayesinde tasarım değişiklikleri kolay yapabilmekte, kalıp üzerindeki tekrar çalışmaları azaltmakta, maliyetlerin düşürülmesi ve ürünün pazara daha hızlı çıkması sağlanmaktadır [6]. Buna karşın, Bilgisayar Destekli Mühendislik (BDM), mühendislik çalışmalarının yürütülmesinin her aşamasında, ürün ve işlemlerin tasarımında, analizinde, ürünlerin üretilmesinde, bilgisayarların kullanılması olarak tanımlanmaktadır [7]. Plastik enjeksiyon kalıp tasarımında kullanılan analiz programları Moldflow, Moldex3d, Simpoe, Simmold, Sigmasoft, vb. dir. Moldflow, sonlu elemanlar yöntemini kullanarak analiz yapmakta ve iki ve üç boyutlu akış alanlarında ve özellikle ince kesitli parçaların analizinde oldukça güvenilir sonuçlar vermektedir [8].

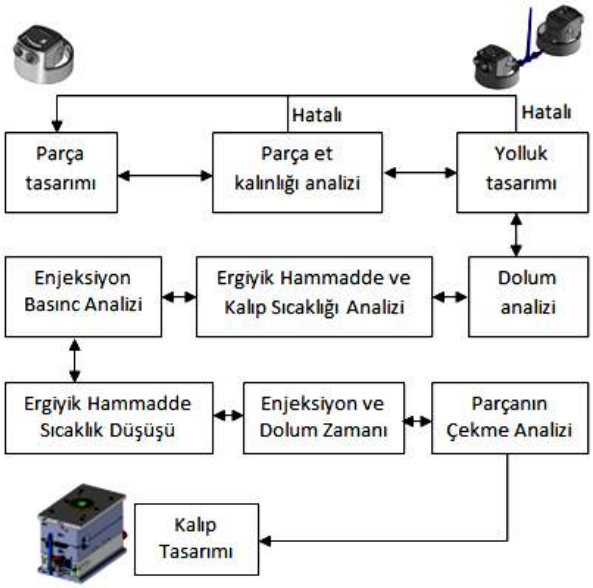
BDM programı ile, kalıp imalatı başlamadan önce, plastik parça, kalıp ve plastik enjeksiyon işleminin benzeşiminin gerçekleştirilmesi ve bunları eniyilenmesi sağlanmakta, en iyi parça ve kalıp tasarımına ulaşmak ve en düşük çevrim zamanlarını elde etmek mümkün olmaktadır [7]. Hacim kalıp içerisinde istenilen parçanın şekline, ölçü ve toleranslarına uygun olarak yapılan, kalıp çukuru veya boşluğuna ergitilerek sıvı hâle getirilmiş malzemelerin enjeksiyon makinalar vasıtasıyla basınçla veya sıkıştırılarak hacim boşluğunu doldurma işlemini yapabilen mekanizmalara veya üretim aparatlarına hacim kalıbı denmektedir. Hacim kalıpçılığının bir seri üretim tekniği olarak maliyet düşüklüğünü, üretim seriliği ve kolaylığını, estetik ve kullanım kolaylığını, tüm insanlığa yaygınlığını ve ülke ekonomilerine katkısını ve maddi döngüsünü düşünürsek önemli yer tutmaktadır [9].

Bu makalede ev aletleri sektöründe kullanılan su arıtma cihazların sistemlerinde kullanılan yuva kapak parçası SolidWorks yazılımıyla 3B olarak tasarlanmış, tasarımı yapılan parça Moldflow yazılımı vasıtasıyla dolum analizi, parça çekme oranları, kalıpta ürünün basılması için gerekli olan enjeksiyon ve kalıp imalatı için gerekli parametre değerleri belirlenmiş, veriler ışığında parçanın kalıp tasarımı sistematiği oluşturulmuştur.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

2. Yuva Kapak Tasarımı

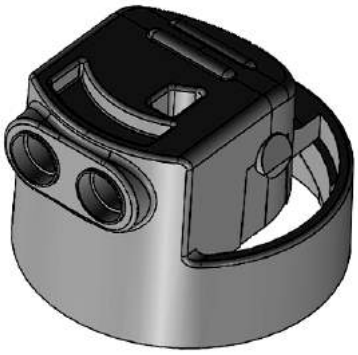
Kalıp tasarım sistematiği Şekil 1'de verilmiştir. Yuva kapağının tasarımına başlamadan önce parçanın et kalınlığı ve hammaddesinin belirlenmesi gerekmektedir. Parça su arıtma sistemlerinde kullanıldığından dolayı su basıncına (azami 12 bar) dayanması gerektiğinden kapak parçasının et kalınlığı 3,2 mm olarak kabul edilmiştir. Yuva kapak parçası kullanıldığı yere ve diğer parçalara uyumlu olacak şekilde tasarımı yapılmıştır (Şekil 2-3).



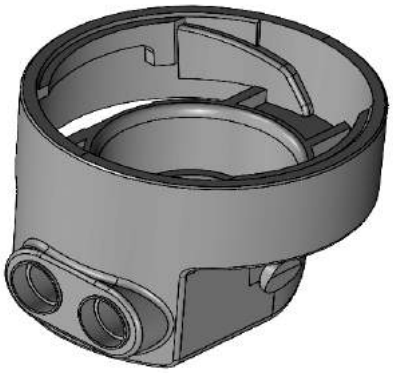
Şekil 1. Yuva Kapak Kalıp Tasarım Sistematiği

Plastiklerin yapı elemanlarının oranları değiştirilerek ve çeşitli katkı maddeleri eklenerek (cam elyafı, karbon, bronz, alümina, talk, vb.) mekanik özelliklerinde değişmeler sağlanabilmektedir [10]. Yuva kapak parçasında Polioksimetilen (POM) hammaddesi kullanmasına aşağıdaki nedenlerden dolayı karar verilmiştir.

- Boyutsal dayanıklılık.
- Yüksek mekanik sağlamlık ve bükülmezlik.
- Diğer plastiklerin karşılayamayacağı, sürekli azalıp, artan yükler veya sıcaklıklar altındaki sağlamlığı.
- Yağlama yapılmadan bile, en iyi yatak özellikleri.
- Yüksek elastikiyet.
- İyi elektrik yalıtma özelliği.
- Düşük su emme (absorbsiyon) özelliği.
- Sıcaklık direnci (-50,+160 derece).



Şekil 2. Yuva Kapak İzometrik Görünüşü



Şekil 3. Yuva Kapak İç Yapı Görünüşü

Özellikle makina aksamı olarak kullanımda daha iyi sonuçlar verdiği deneylerle belirlenmiştir [11]. Küçük dişlilerde dişlerin mukavemeti açısından tercih edilmiştir. Polioksimetilen malzemenin bu özelliklerinden ve kullanıldığı yer bakımından dolayı yüksek sertlik gerekliliği, mekanik dayanımı yüksek olması ve birbiri ile çalışan malzemelerin rahat çalışması gerekliliğinden dolayı hammadde olarak POM seçilmesine karar verilmiştir.

3. Yuva Kapağın Moldflow ile Analizi

Moldflow yazılımı yardımıyla, parça geometrisi ve kalınlığındaki değişimlerin, yolluk sisteminde ve yolluk giriş noktasındaki değişikliklerin, malzemedeki değişikliklerin, nihai ürün kalitesine olan etkilerini ve plastik enjeksiyon prosesi ile ilgili ortaya çıkabilecek sorunları imalata geçmeden önce görülebilmektedir [7].

Kalıp üretimi yapılmak istenen parçanın tasarımı yapıldıktan sonra, kalıp tasarımına geçilmeden önce yuva kapak parçasının analizi şu aşamalardan geçmelidir.

- Et kalınlığı analizi
- Yolluk yeri tayini
- Dolum analizi
- Ergiyik hammadde ve kalıp sıcaklığı analizi
- Enjeksiyon basınç analizi
- Ergiyik hammadde sıcaklık düşüşü
- Enjeksiyon ve dolum zamanı
- Parçanın çekme analizi

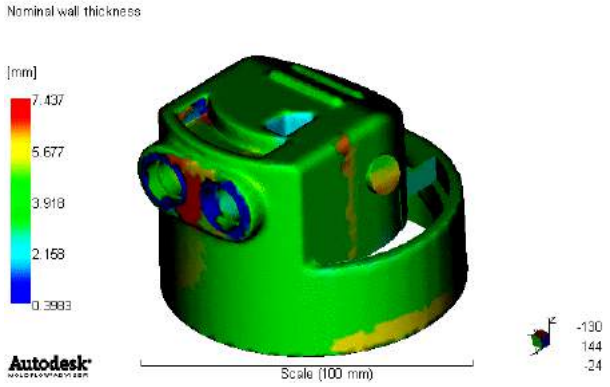
3.1. Et Kalınlığı Analizi

Tasarımı yapılan parçanın et kalınlık dağılımı Şekil 4'de gösterilmiştir. Yeşil renkte gösterilen yerlerde et kalınlığı 3,2 mm dir. Parça tasarımının özelliği gereği ve diğer parçalarla montajı için gerekli olan biçim özelliklerinden dolayı kalınlıklarda değişimler olmaktadır. Bu değişimlerde et kalınlığı azami 7,4 mm ve asgari olarak 0,4 mm ölçülmüştür. Et kalınlığı azami olan kısımlarda çökme olasılığı olmaktadır. Yapılacak olan çökme analizinde bu oran belli olacaktır.

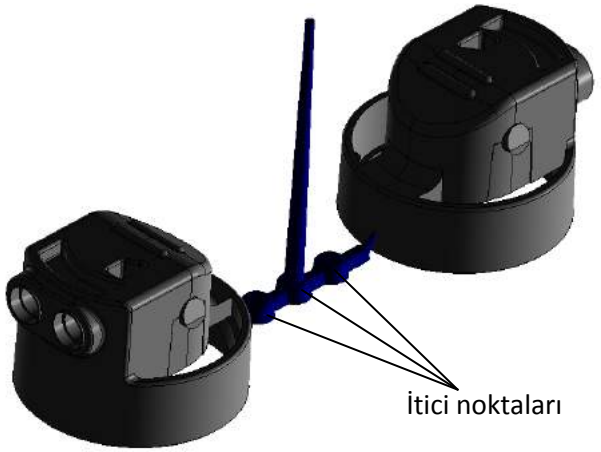
3.2. Yolluk Yeri Tayini

Yuva kapak parçası bir baskıda iki adet olacak ve soğuk yolluklu olarak planlanmıştır. Parça dış geometrisi silindirik olduğundan dolayı tünel yolluk düşünülmüştür. Plastik

parçaya yolluk giriş noktasını tasarımcı tarafından tayin edilebildiği gibi yazılım tarafından da hesaplanabilmektedir. Parçaya ait plastik malzeme ataması yapılarak "En İyi Giriş Noktası" (Best Gate Location) Analizi yapılmış, yazılımdan en iyi giriş nokta önerisi alınmıştır. Şekil 5'de görüldüğü parçanın yolluk tasarımı yapılmıştır. Parça enjeksiyonda basılma işleminden sonra erkek tarafında kalmaması için üç adet itici vasıtasıyla çıkartılması düşünülmüştür. Tünel yolluklar parçanın silindirik yüzeyine patladığından dolayı çapaklanmanın önüne geçmesi planlanmıştır.



Şekil 4. Yuva Kapak Et Kalınlığı Dağılımı

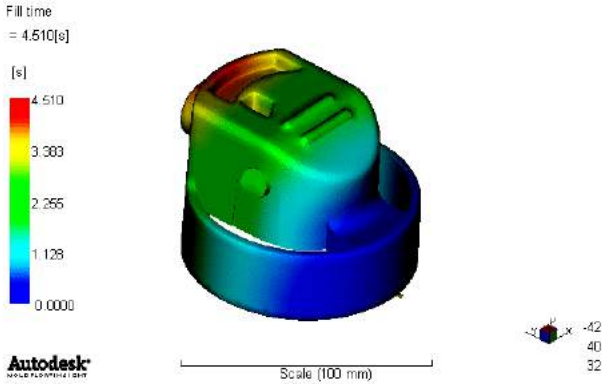


Şekil 5. Yuva Kapak Yolluk Tasarımı

3.3. Dolum Analizi

Plastik parçanın yolluk noktası belirlendikten sonra ergiyik hammaddenin dolum analizi yapılmıştır. Dolum analizi yapamadan önce parçayı yapılacak olan malzemenin atanması gerekmektedir. Yazılım malzeme kütüphanesinden "Delrin 500T NC010" ve tedarik firması olarak "DuPont Engineering Polymers" seçilerek atanmıştır.

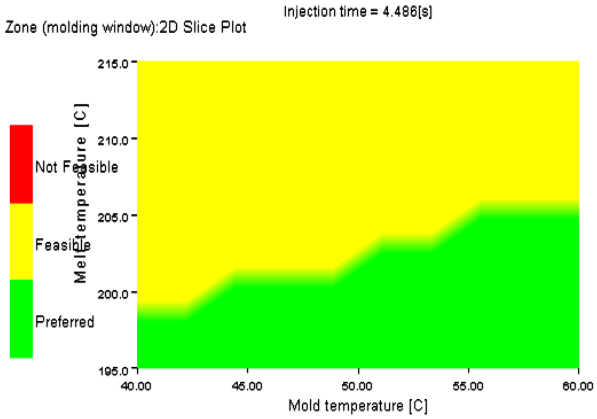
Şekil 6'da dolum analizinde görüldüğü üzere 4,5 saniyede parçanın tamamını doldurabilmektedir. Kalıp dolumu başlayacağı anda ilk olarak mavi renkli (resimde koyu olan) yolu takip eder ve kırmızı noktalarda en son dolmaktadır. Mavi renkte olan yer kalıbın o bölgesinde aşırı yük oluşmasına, parçadaki öz kütlesinin daha yoğun olmasına ve buranın daha erken soğumasına neden olmaktadır.



Şekil 6. Yuva Kapak Dolum Zamanı

3.4. Ergiyik Hammadde ve Kalıp Sıcaklığı Analizi

Yuva kapak parçasına atanmış olan hammaddeye uygun olarak parça biçimine göre hammaddenin kalıba enjekte sıcaklığı ve kalıp sıcaklığının belirlenmesi gerekmektedir. Yazılımında bulunan "Mold Window" modülü sayesinde bu parametre belirlenmiştir (Şekil 7). Analiz sonucuna göre enjeksiyon zamanın 4,5 sn olduğunda hammadde sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı belirlenebilmektedir. Hammadde sıcaklığı ve kalıp sıcaklığı yeşil rengin üzerinde ortasında kesişim noktalarının geldiği noktadaki değerler alınmaktadır. Bu parça için hammadde sıcaklığı 198 °C ve kalıp sıcaklığı 57,5 °C olarak belirlenmiştir.



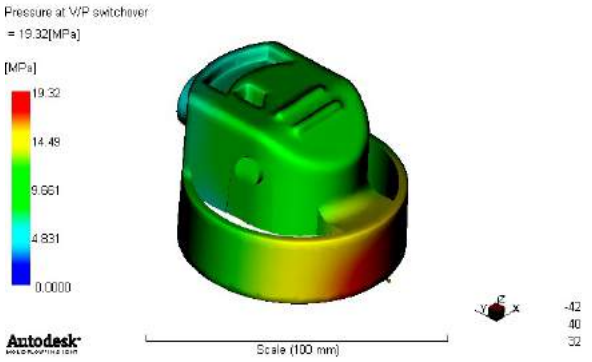
Şekil 7. Yuva Kapak Hammadde ve Kalıp Sıcaklığı

3.5. Enjeksiyon Basınç Analizi

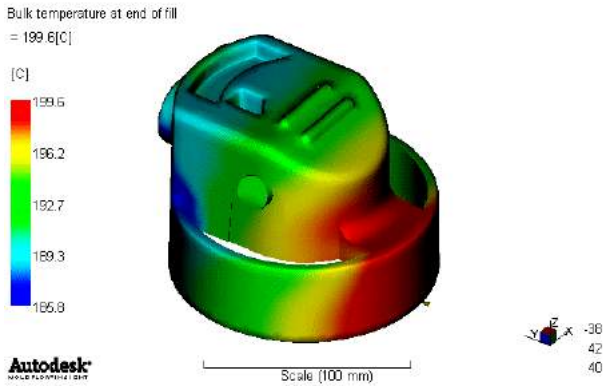
Kalıp içerisinde belirlenen ergiyik hammaddenin enjekte edilirken bir basınç oluşturmaktadır. Bu basınç kalıbın erkek ve dişisini açmaya zorlamaktadır. Kalıpta oluşan bu basınca enjeksiyon basıncı denilmektedir. Şekil 8'de gösterilen enjeksiyon basıncı 19,32 MPa kalıba ürünün basıldıktan sonra ve ütüleme zamanı içersinde kalıp içerisinde oluşmaktadır. Bu basınç bize bu kalıbın hangi enjeksiyon makinesinde basılabileceğini göstermektedir. Kalıp boyutları en düşük enjeksiyon makineye uygun olup bağlanabilir. Fakat makinenin enjeksiyon basıncı düşükse yeterli değilse o enjeksiyon makinesinde basılmaması gerekmektedir. Aksi takdirde kalıp enjeksiyon sırasında kalıp erkek ve dişisi açılarak malzeme çapak oluşmasına sebep olacaktır. Enjeksiyon makinesi seçiminde bu değer dikkate alınması gerekmektedir.

3.6. Ergiyik Hammadde Sıcaklık Düşüşü

Ergiyik hammadde kalıp içerisine enjekte edildiğinde parçanın formuna ve boyutuna bağlı olarak sıcaklığında düşüşler olmaktadır. Şekil 9'de görüldüğü gibi yolluk giriş noktasında ergiyik hammadde sıcaklığı 199,6 °C iken en son dolma noktasındaki ergiyik hammadde sıcaklığı 185,8 °C olmaktadır. Hammadde sıcaklık farkı düşük olduğunda dolayı dolum sağlıklı olacaktır. Sıcaklık farkı yüksek olduğunda kalıp boşluğu hammadde ile dolmadan soğumaya başlayacak veya tam doldurmayacaktır. Bu yüzden ergiyik hammaddenin yolluk girişinden son dolma noktasındaki sıcaklık farkı düşük olması gerekmektedir.



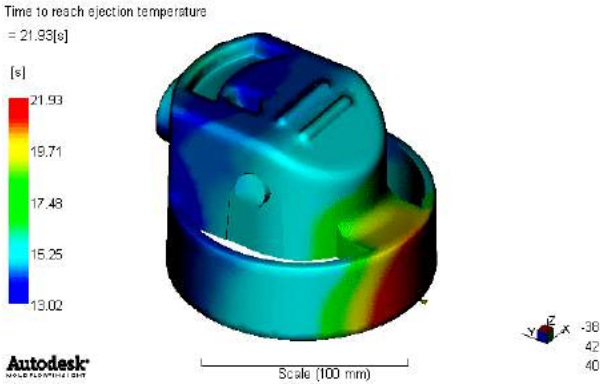
Şekil 8. Yuva Kapak Enjeksiyon Basıncı



Şekil 9. yuva Kapak Hammadde sıcaklık Düşüşü

3.7. Enjeksiyon ve Dolum Zamanı

Kalıp içerisine ergiyik hammadde enjekte edildikten sonra hammaddenin soğuması için belli bir zaman kalıp içersinde kalması gerekmektedir. Ergiyik hammadde kalıp içersinde soğurken kalıbın şeklini almaktadır. Şekil 10'da görüldüğü üzere ürünün baskı zamanı toplamda 22 sn olarak göstermektedir. Parça kalıp içersinde belirlenen zamandan fazla kaldığından ürünün boyutsal anlamda büyük gelebilir. Parça kalıp içersinde belirlenen zaman diliminde düşük kaldığında ürün boyutsal anlamda düşük, parça sıcak ve formu bozuk olabilir. Bu yüzden kalıp cevrim zamanı parçanın boyutsal ve formunun istenilen şekilde olması için önemli bir parametredir.

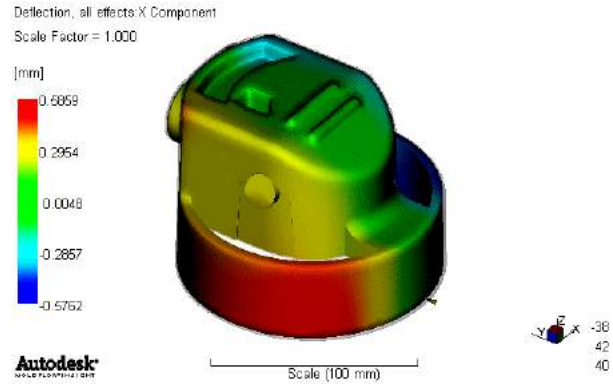


Şekil 10. Yuva Kapak Kalıp Baskı Süresi

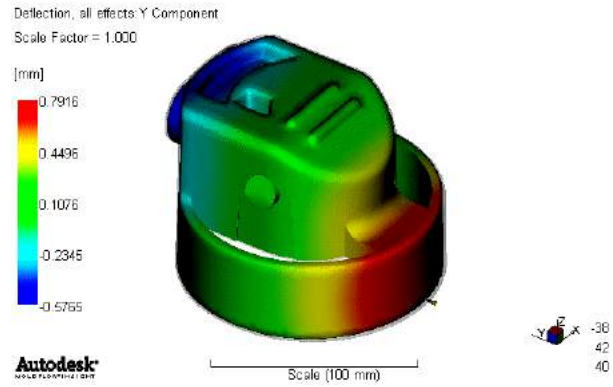
3.8. Parçanın Çekme Analizi

Kalıptan ürün çıktıktan sonra belli oranda çekme olmaktadır. Bu çekme oranları hammadde üreticileri tarafından bu oran verilmektedir. Bu oran kalıp tasarımı yapılırken, ürün o oranda büyük yapılarak kalıptan çıktıktan sonra istenilen boyutta olması sağlanır. Hammadde üretici firmaların vermiş olduğu çekme oranı X,Y ve Z yönünde aynıdır. Fakat parçalar X,Y ve Z yönünde çekme oranları parçanın biçimine ve kalınlığına göre değişiklik göstermektedir.

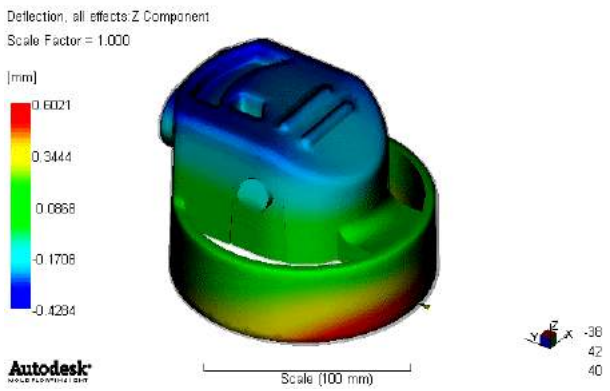
Şekil 11, 12, 13'de görüldüğü gibi parçada X,Y ve Z yönünde farklı ölçülerde çekme miktarları oluşmaktadır. X yönünde 0,58 mm, Y yönünde 0,79 mm ve Z yönünde 0,60 mm olduğu görülmüştür. Parça kalıp tasarımına başlamadan önce X,Y ve Z yönünde miktarlara göre çekme oranları verilmesi gerekmektedir.



Şekil 11. Yuva Kapak X Yönde Çekme Miktarı



Şekil 12. Yuva Kapak Y Yönde Çekme Miktarı



Şekil 13. Yuva Kapak Z Yönde Çekme Miktarı

4. Yuva Kapağın Kalıp Tasarımı

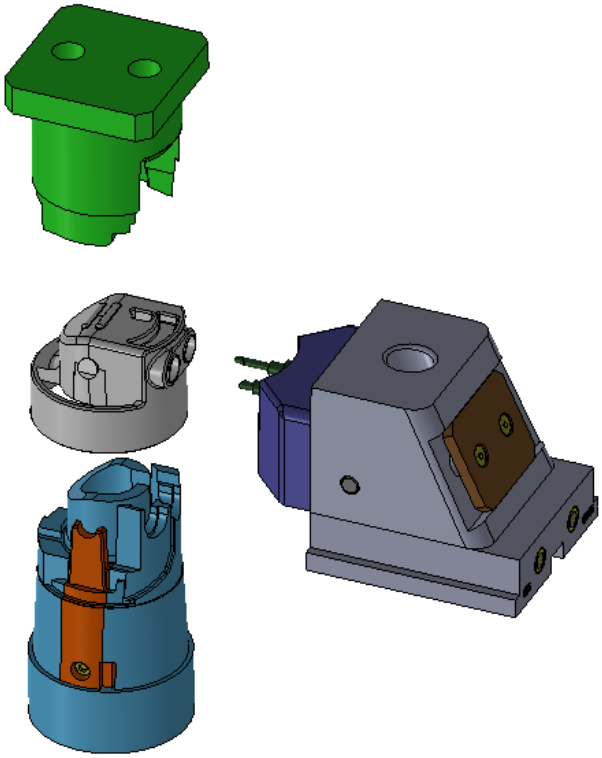
Yapılan analizlerde elde edilen parametreler ile kalıp tasarımı yapılacaktır. Kalıp konstrüksiyonu; parça iticileri, kalıp yarımları, maçalar, maça taşıyıcıları, plakalar, mekanik hareket sağlayan açılı pimler, kılavuz kolon, burçlar, kovan, pim ve bağlantı cıvatalarından oluşmaktadır. Kalıp 287 farklı toplam 509 adet parçadan oluşmuştur. Hareketli ve sabit kalıp parçaları arasında istenilen karşılıklı pozisyonun sağlanması, hareketli kalıp üzerine dört adet burç ve sabit kalıp üzerinde dört adet kılavuz kolonlar ile gerçekleştirilmiştir.

Şekil 14'de kalıbın tek gözünün maça ve lokmaları gösterilmiştir. Yanda bulunan delikler ve çıkıntı biçimli yüzeyler için acılı eğik maçalar vasıtasıyla çıkartılacaktır. Parçanın iç formları ve üst formlarında çıkartma için bu kısımlar lokma şeklinde olup dişi ve erkek kısmı bağlanmalıdır. Bu kısımların lokma olarak yapılmasındaki amaç parçanın formu gereği bu kısımlarda ince parçalar kalmaktadır. İnce parçaların enjeksiyon baskı sırasında, bakım ve tadilat sırasında kırılma ihtimaline karşı lokma şeklinde yapılmıştır. Lokma şeklinde olması sayesinde herhangi kırılma durumunda sadece lokma değişimi ile maliyet kazancı ve tadilat zaman kısalmasını sağlayacaktır.

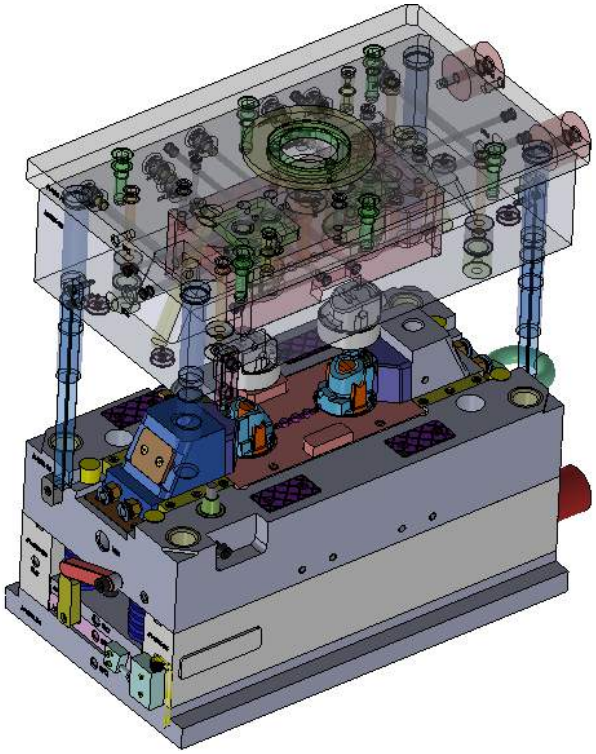
Şekil 15'de yuva kapak parçanın kalıp tasarımının genel görüntüsü gösterilmektedir. Kalıp tasarımının bitmesinden sonra kalıp boyutları yükseklik 580 mm, genişlik 350 ve derinlik 431 mm olarak yapılmıştır. Bu boyutlara göre yuva kalıbı en düşük olarak 120 tonluk enjeksiyon makinesine bağlanabilmektedir.

5. Sonuç

Moldflow yazılımında elde edilen veriler ışığında parçanın kalıp tasarımı yapılmıştır. Kalıp 287 farklı toplam 509 adet parçadan oluşmuştur. Parçanın iç formları ve üst formlarında çıkartma için bu kısımlar lokma şeklinde olup dişi ve erkek kısmı bağlanmıştır. Lokma şeklinde olması sayesinde herhangi kırılma durumunda sadece lokma değişimi ile maliyet kazancı ve tadilat zaman kısalmasını sağlayacaktır. Kalıp tasarımı bittikten sonra kalıp imalatına geçilmiştir.



Şekil 14. Yuva Kapak Kalıp Maça Sistemi



Şekil 15. Yuva Kapak Kalıp Görünüşü

Kaynaklar

[1] Göloglu, C., "Sistematik Tasarım Ders Notları", Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Karabük, 2013.

[2] Pahl, G. and Beitz, W., “Engineering Design: A Systematic Approach”, English translation of K. Wallace (ed.), Springer Verlag, London, 1988.
[3] Chang, K.H., Silva, J. and Bryant, I., “Concurrent Design and Manufacturing for Mechanical Systems”,Concurrent Engineering Research and Applications (CERA) Journal, 7(4), 290-308, 1999.
[4] Bayazıt, N., “Endüstri Ürünlerinde ve Mimarlıkta Tasarlama Metotlarına Giris”, Literatür Yayınları, İstanbul, 1994.
[5] Rodriguez, K. and Al-Ashaab, A., “Knowledge Web-based System Architecture for Collaborative Product Development”, Computers in Industry, 56, 125-140, 2005.
[6] Göloglu, C., Maden, H., “Hacim Kalıpçılığı El Kitabı” Taslak Çalışması, 2014.
[7] İdrizoglu, I., “Plastik enjeksiyon kalıp tasarımında analiz yazılımlarının yeri”, CAD CAM CAE Dünyası Dergisi Sayı:27 Sayfa:48-54 Ekim-Kasım–Aralık,2011.
[8] Autodesk MoldFlow Insight 2014, http://www.autodesk.com/products/autodesk-simulation-family/features/simulation-moldflow/all/gallery-view (Erişim: Mart 2014).
[9] MEGEP, “Hacim ve Plastik Şekillendirme Kalıp Resmi”, Makine Teknolojisi Anakara, 2006.
[10] Plastik enjeksiyon kalıp tasarımı, Sayfa:1 http://www.turkcadcam.net/rapor/PEK-CAE/PlastikEnjeksiyonKalibiTasarimi.pdf (Erişim: Mart 2014)
[11] POM (polioksimetilen) hammaddesinin özellikleri, http://www.ketkaucuk.com/haber-detay.asp?id=427#.U1uQ0_I_t1Z (Erişim: Mart 2014)

MİNERAL KARTUŞ FİLTRE VE MİNERAL FİLTRELİ SÜRAHİ TASARIMLARININ İÇME SUYU ÜZERİNE ETKİLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

COMPRASIONS OF EFFECTS OF MINERAL CARTRIDGE FILTER AND MINERAL FILTER PITCHER DESINGS ON DRINKING WATER

Ömer Şaban KAMBER [a] ve Haydar UĞUR [b]
[a] İhlas Ev Aletleri, İstanbul, Türkiye, E-posta: okamber@gmail.com
[b] İhlas Ev Aletleri, İstanbul, Türkiye, E-posta: haydaru9@hotmail.com

Özet

Su kaynaklarının sürekli olarak kirlenmesi sonucunda temiz su ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Ters osmoz su arıtma cihazları temiz su üretiminde dünyada kullanılan en ileri teknolojidir. Fakat cihazın besleme suyundaki maddeler yararlı veya zararlı olmasına bakılmaksızın %98 oranında arıtılır. Bu nedenle ters osmoz cihazlarından elde edilen su yararlı mineral içeriği bakımından fakirdir. Ters osmoz cihazından elde edilen suyun mineral içeriğini artırmak için iki adet filtre tasarımı yapılmıştır. Bunlardan ilki içerisinde kalsit minerali bulunan kartuş filtredir ve ters osmoz cihazı çıkışına takılmaktadır. Arıtılan su bu filtre içerisinden 2,1 L/dk 'lık debi ile geçer ve içerisinde bir miktar mineral çözerek musluktan akmaktadır. İkinci tasarım ise içerisinde kalsit minerali bulunan sürahidir. Ters osmoz cihazından elde edilen su içerisinde mineral filtresi bulunan sürahi içersine doldurulur. Su sürahi içerisinde filtreden süzülerek belli bir miktar minerali içerisinde çözmektedir. Bu iki farklı tasarım filtreden elde edilen sular tat, pH, TDS (toplam çözünmüş katı madde miktarı), toplam sertlik, alkalilik ve kalsiyum içeriği açısından karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak mineral filtreli sürahi, kartuş filtreye göre suyun tadını daha fazla iyileştirmekte ve suyun mineral içeriğini daha fazla artırmaktadır.

Anahtar kelimeler: tasarım; filtre; sürahi; mineral; su

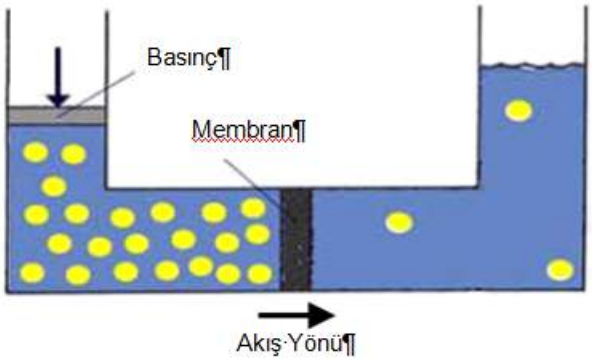
Abstract

As a result of continuous contamination of water sources, demand for clean water is increasing day by day. Reverse osmosis (RO) water purification equipments are the most advanced technology in manufacture of clean water. However, regardless of whether beneficial or harmful substances in the feed water the RO devices purify it approximately % 98. Therefore, water that is obtained form RO devices is poor in useful mineral content. To increase the mineral content of the water that is obtained from RO devices. Two different filter designs are made. The first of these is cartridge filter that has calcite mineral. It is attached to the output of the RO device. The water that is purified by the RO device passes through the cartridge filter within L/min flow rate and flows from the tap by dissolving some mineral. The second design is a pitcher that has calcite mineral filter in it. The Water obtained by the RO device is filled in the pitcher. While the water is filtered in the pitcher, a certain amount mineral is dissolved in the water. Taste, Ph, TDS (total dissolved solids), total hardness, alkalinity and calcium values of the water samples obtained from two different filter designs are compared. As a result, the pitcher design that has mineral filter in it improves the taste of water and increases the mineral content of water further according to cartridge filter design.

Key Words: design; filter; pitcher; mineral; water

1. Giriş

Su kaynaklarının sürekli olarak kirlenmesi sonucunda temiz su ihtiyacı gün geçtikçe artmaktadır. Ters osmoz su arıtma cihazları temiz su üretiminde dünyada kullanılan en ileri teknolojidir. Ters osmoz basınç tahrikli membran ayırma prosesidir. Şekil 1'de gösterildiği gibi su küçük gözenekli bir membrandan 100-150 psi basınçla geçmeye zorlanır. Membran gözeneklerinden yaklaşık 0,1 nm' den büyük moleküller su ile beraber geçemez ve su filtrelenmiş olarak membranın diğer tarafına geçmektedir[1].



Şekil 1. Ters osmoz prosesi

Fakat cihazın besleme suyundaki maddeler yararlı veya zararlı olmasına bakılmaksızın %98 oranında arıtılır. Bu nedenle ters osmoz cihazlarından elde edilen su yararlı mineral içeriği bakımından fakirdir [2]. Kalsiyum ve magnezyum gibi mineral içeriği yüksek sert suların kardiyovasküler hastalıklar ile negatif ilişkisi bulunmaktadır. Suyun kalsiyum ve magnezyum içeriği ne kadar yüksek ise kalbi koruyucu etkisinin de o kadar fazla olduğu öne sürülmektedir. Kalsiyum ve magnezyum içeriği yüksek olan suların kolon, rektum, pankreas, karaciğer, meme kanseri gibi hastalıkların neden olduğu ölümlere karşı koruyucu olduğuna yönelik birçok çalışma mevcuttur [3]. RO

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

suyunun toplam çözünmüş katı madde miktarı (TDS) değeri azdır. Çünkü besleme suyundaki mineraller %98 oranında arıtılmaktadır. Bazı kesimler bilimsel olarak kanıtlanmasa da TDS değeri düşük suyun vücuttaki minerallerin dışarı atılmasını kolaylaştırdığını ve bunun hastalıklara neden olduğunu savunmaktadır [4]. Ayrıca suyun asitlik, bazlık derecesi olan pH değeri ters osmoz cihazı suyunda 6,5 değerinin altındadır. Standartlarda içme suyunun pH değerinin 6,5 altında bulunmaması gerektiği belirtilmektedir. Suyun pH değerinin 6,5' tan az olması durumunda suda metalik bir tat oluşmaktadır ve su aşındırıcı özelliğe sahip olmaktadır. Suyun pH değeri 8,5 değerinin üzerinde olursa suda kayganlık hissi oluşmakta ve suyun tadı bozulmaktadır. [5-7]. Tablo 1' de bazı standartların pH değeri limitleri verilmiştir. Bu çalışmanın amacı mineral içeriği bakımından fakir bunun sonucunda tadı kötü, pH, TDS, toplam sertlik, kalsiyum ve alkalilik değerleri düşük RO suyunun mineral içeriğini artırarak. Bu değerlerin iyileştirilmesidir. Bu nedenle içerisinde kalsit minerali içeren iki adet filtre tasarımı yapılmış ve bu filtrelerin suyun değerleri üzerine etkisi karşılaştırılmıştır. Bu filtre tasarımlarından ilki içerisinde kalsit minerali bulunan kartuş filtredir ve ters osmoz cihazı çıkışına takılmaktadır. Arıtılan su bu filtre içerisinden belli bir akış hızında geçer ve içerisinde bir miktar mineral çözerek musluktan akmaktadır. İkinci tasarım ise içerisinde kalsit minerali bulunan sürahidir. Ters osmoz cihazından elde edilen su, içerisinde mineral filtresi bulunan sürahi içersine doldurulur. Su sürahi içerisinde filtreden süzülürken belli bir miktar minerali içerisinde çözmektedir. Elde edilen sonuçlara göre mineral filtreli sürahi, mineral kartuş filtreye göre suyun tadını daha fazla iyileştirmekte ve suyun mineral içeriğini daha fazla artırmaktadır.

2. Malzeme ve Yöntemler

2.1. Mineral

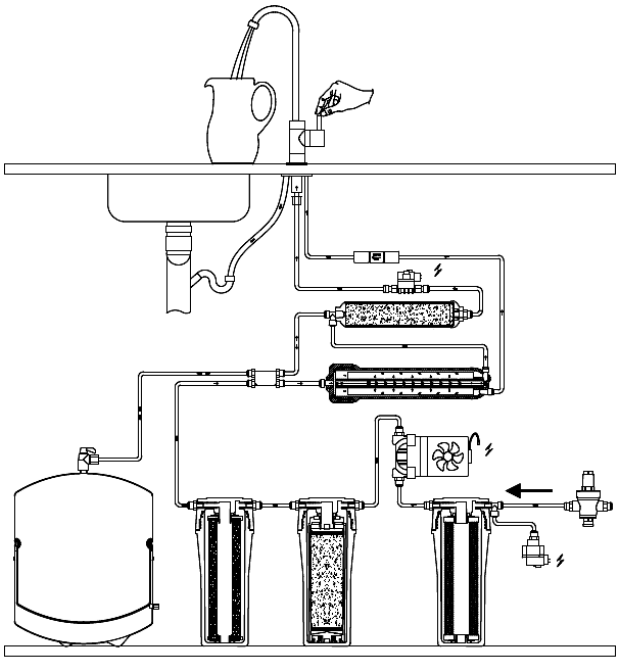
Filtrelerin içerisinde %95 oranında kalsiyum karbonat ($CaCO_3$), %3 oranında magnezyum karbonat ($MgCO_3$), içeren kalsit minerali kullanılmıştır. Mineralin tanecik boyutu dağılımı 14-25 mesh aralığındadır.

2.2. Aparatlar

RO cihazı olarak İhlas Ev Aletleri'nin üretimi olan "Aura Cebilon Compact" ev tipi tezgah altı RO cihazı kullanılmıştır. Cihazın akış şeması Şekil. 2 'de gösterilmiştir. Filtre plastik parçalarının montajında rotasyonlu kaynak (spin welding) makinesi ve 20 Khz frekans gücüne sahip olan ultrasonik kaynak makinesi kullanılmıştır. Tasarımların 3D dataları Solidwork çizim programında yapılmıştır.

2.3. Su Örneklerinin Analizi

RO cihazı çıkışından alınan su numunesi "A" harfiyle, mineralli kartuş filtreden alınan su numunesi "B" harfiyle ve sürahiden alınan su numunesi "C" harfiyle kodlanmıştır. Alınan su numuneleri polietilen şişelerde oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir. Tat analizinde her üç su numunesi de cam bardaklara alınmıştır. 19-20 yaş aralığında 10 kişi bu su numunelerini hangi su numunesi olduğunu bilmeden tatmıştır. Bu 10 kişi su numunelerinin tatlarına çok iyi, iyi, orta, kötü, çok kötü olmak üzere ayrı ayrı sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırmaya sırasıyla 2,1,0,-1,-2 puanları verilmiştir. Oda ve numune sıcaklıkları 26 ˚C' dir. pH ve TDS analizinde portatif pH/iletkenlik ölçer (Thermo Scientific Orion 4 Star pH/conductivity meter) Toplam sertlik, kalsiyum, alkalilik değerleri ölçümünde spektrofotometre (Thermoed 7500 photometer) kullanılmıştır.



Şekil 2. RO Cihazı Akış Şeması

2.4. Tasarım 1

RO cihazı çıkışına içerisinde 360 g kalsit minerali bulunan kartuş filtre takılır. RO cihazının temiz su tankında bulunan su 2,1 L/dk debi ile filtrenin içerisinden geçerek bir miktar minerali içerisinde çözmektedir. Su kalsit minerali ile 7 sn temas ederek musluktan akmaktadır. Filtre, şekil 3'te gösterildi gibi gövde, kapak, alt ve üst süzgeç olmak üzere 4 adet plastik parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar 60-250 ton kapasite aralığında Haitian marka plastik enjeksiyon makinelerinde basılmıştır. Alt ve üst filtre süzgeçlerine poliester keçe ultrasonik kaynak makinesi İle yapıştırılmaktadır. Süzgeçlerin keçe ile yapışmış halleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu süzgeçlerin amacı filtre içerisine her hangi bir partikülün girmemesi ve filtre dışarısına filtre içerisindeki kalsit minerali taneciklerinin çıkmamasıdır. Bu süzgeçlerin haricinde filtre içerisine giriş ve çıkışta 90 ppi gözeneklilikte poliester bazlı poliüretan süngerler konulmaktadır. Filtre kapağı ve gövdesi spin welding kaynak makinası ile 20 bar basınçtaki suya dayanıklı olacak şekilde kaynatılmaktadır. Filtrenin montaj edilmiş halini gösteren resim Şekil 5'te gösterilmiştir.

2.5. Tasarım 2

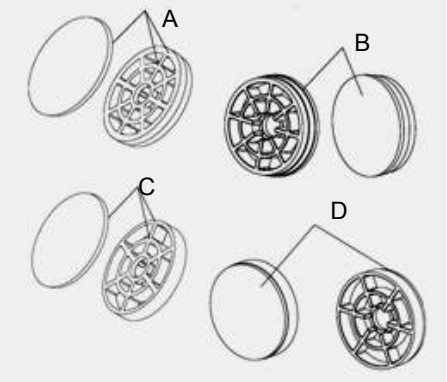
RO cihazından alınan su içersinde mineral filtresi bulunan sürahi içerinse doldurulur . Sürahi Şekil 6'da gösterildiği gibi 4 bölümden oluşmaktadır. Birincisi kapak bölümüdür. İkincisi suyun doldurulduğu üst bölgedir. Üçüncüsü içerisinde 150 g kalsit minerali bulunan filtredir. Dördüncüsü filtreden süzülen suyun toplandığı ana bölümdür. Su sürahinin üst bölmesine kapakta bulunan delikten doldurulur. Su üst bölmeye bağlı filtreden süzülür. Süzülürken içerisinde belli bir miktar mineral çözerek

sürahinin alt bölmesine geçer. Suyun filtre içerisinden geçerken mineralle temas etme süresi 45 sn' dir. Filtrenin oturduğu yerin kenarlarından suyun alt bölmeye sızmaması amacı ile silikon conta kullanılmıştır. Filtre içerisine her hangi bir partikülün girmemesi ve filtre dışarısına filtre içerisindeki kalsit minerali taneciklerinin çıkmaması amacıyla filtre girişinde bulunan üst filtre süzgecine ultrasonik kaynakla keçe yapıştırılır. Filtrenin çıkış kısmında ayrı parça olarak süzgeç yoktur. Filtrenin çıkış kısmında kendi üzerinde süzgeç bulunmaktadır. Bu süzgecin üzerine ayrıca keçe ultrasonik kaynak ile yapıştırılmaktadır. Bu süzgeçlerin haricinde filtre içerisine giriş ve çıkışta 90 ppi gözeneklilikte poliester bazlı poliüretan süngerler konulmaktadır. Filtrenin detaylı resmi Şekil 7'de, sürahinin montaj edilmiş resmi Şekil 8'de gösterilmiştir. Plastik parçalar 60-300 tonluk kapasitede Haitian marka plastik enjeksiyon makinelerinde basılmıştır.

Tablo 1. İçme suyu pH standartları

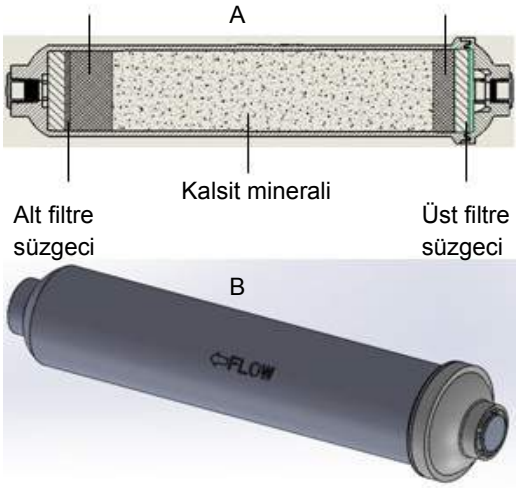
	Türk Standartları TSE 266 2005	ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) 2003	Dünya Sağlık Teşkilatı (WHO) 1993	Avrupa Birliği (EC) 1998
pH	6,5-9,5	6,5-8,5	6,5-8,0	6,5-9,5

Şekil 3. Kartuş filtrenin plastik parçaları (A) Gövde (B) Kapak (C) Üst filtre süzgeci D Alt filtre süzgeci

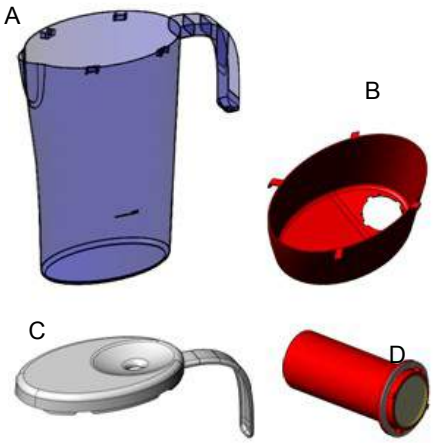


Şekil 4. (A) Alt filtre süzgeci ve keçenin ultrasonik kaynak yüzeyi (B) Alt filtre süzgeci ve keçenin kaynak edilmiş hali (C) Üst filtre süzgecini keçe ile ultrasonik kaynak yüzeyi (D) Üst filtre süzgeci ve keçenin kaynak edilmiş hali

Çıkış süngeri Giriş süngeri



Şekil 5. (A) Filtrenin kesiti (B) Filtrenin kaynatılmış hali



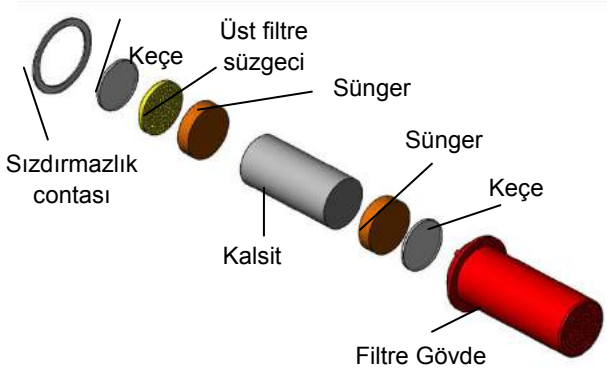
Şekil 6. (A) Süzülen suyun toplandığı ana bölüm (B) Suyun doldurulduğu üst bölüm (C) Kapak (D) İçerisinde kalsit minerali bulunan filtre

Tablo 2. Tat analizi sonuçları

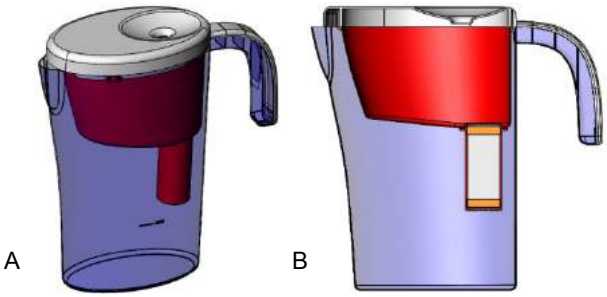
	Çok İyi	İyi	Orta	Kötü	Çok Kötü	Toplam	Ortalama Skor
A	0	2	5	2	1	10	-0,2
B	1	3	4	1	1	10	0,2
C	2	3	3	1	1	10	0,4

Tablo 3. Su numunelerinin kalsiyum, toplam sertlik, TDS, pH alkalilik değerleri

	Kalsiyum (Ca^{2+}) mg/L	Toplam Sertlik Fr°	TDS mg/L	pH	Alkalilik (CO_3^{2-}) mg/L
A	2,8	1,16	11	6	7
B	11,3	3,98	21,4	6,8	25,25
C	21,2	6,64	64	7,5	39,3



Şekil 7. Sürahi içerisindeki filtrenin patlatılmış resmi



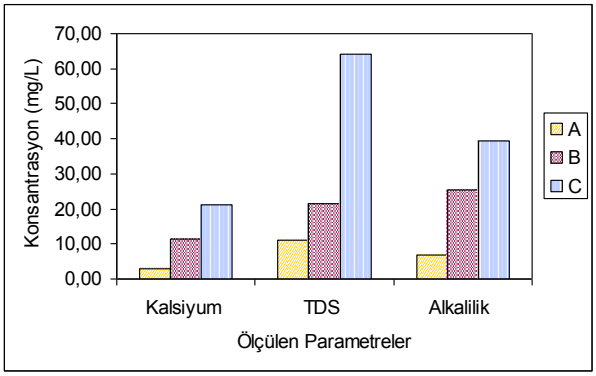
Şekil 8. (A) Sürahinin montaj edilmiş hali (B) Sürahinin montaj edilmiş halinin kesit resmi

3. Analiz Sonuçları

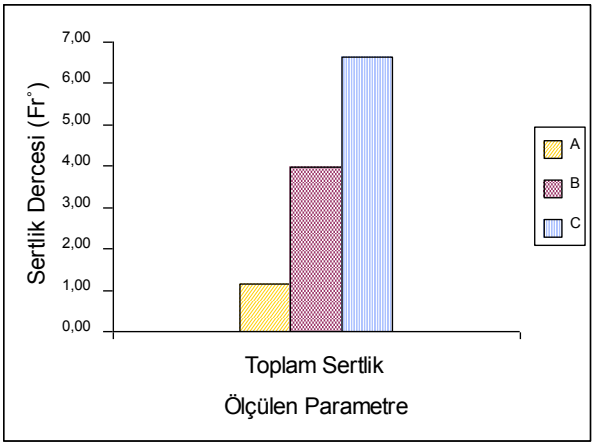
RO cihazından alınan su numunesi "A" harfiyle, mineralli kartuş filtreden alınan su numunesi "B" harfiyle sürahi filtreden alınan su numunesi "C" harfiyle kodlanmıştır. Tablo 2' de su numunelerinin tat analiz sonuçları 10 kişinin verdiği skorların ortalamasıyla verilmiştir. Skorların ortalaması aşağıdaki denkleme göre hesaplanmıştır [8].

Σ (Puan x Analizci sayısı / Toplam Analizci Sayısı (1)

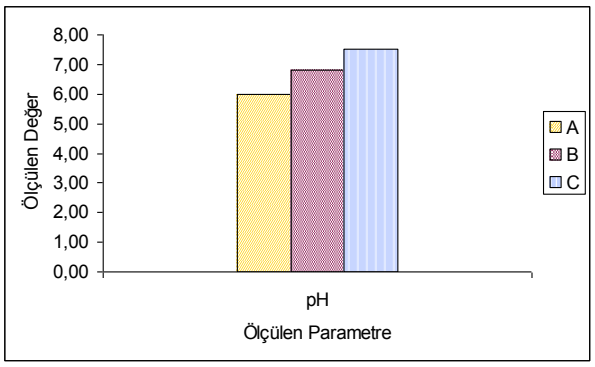
Tablo 2'deki sonuçlar göstermektedir ki mineral filtreli sürahideki su en iyi tada sahiptir. Daha sonra mineralli kartuş filtreden alınan su ve en son olarak RO suyudur. Su numunelerinin kalsiyum, toplam sertlik, TDS, pH alkalilik değerleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Numunelerin kalsiyum, TDS ve alkalilik değerlerinin karşılaştırılması Şekil 9'da pH değerlerinin karşılaştırılması Şekil 10'da, toplam sertlik değerlerinin karşılaştırılması Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 9. Su numunelerinin kalsiyum, TDS ve alkalilik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 10. Su numunelerinin toplam sertlik değerlerinin karşılaştırılması



Şekil 11. Su numunelerinin pH değerlerinin karşılaştırılması

4. Sonuç ve Değerlendirme

RO suyu mineral içeriği bakımından fakir olduğundan dolayı suyun kalsiyum, pH, TDS ve toplam sertlik ve alkalilik değerleri düşüktür. Yapılan iki tasarımdan ikincisi mineral filtreli sürahi mineralle daha fazla süre temas ettiği için RO suyunun bu değerlerini birinci tasarım mineralli kartuş filtreye göre daha fazla artırmaktadır. Bu nedenle su numunelerinin tat karşılaştırılmasında en iyi tat mineral filtreli sürahi suyunundur. İkincisi mineralli kartuş filtre suyu, üçüncüsü ise RO suyudur.

Kaynaklar

[1] Greenlee, L.F. and Lawyer, D.F., Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today's challenges, Water Research. vol.43, no. 9, pp. 2317-2348, 2009.

[2] Kozisek, F., Nutrients in drinking water. Water, Sanitation and Health Protection and the Human Environment World Health Organization, Geneva, 2005.

[3] Koçak, N. ve Güleç, M., Suyun sertlik derecesi ve sağlık etkileri, TAF Preventive Medicine Bulletin. vol.10 no. 2, pp 187-192, 2011.

[4] Rozelle, L.T. and Wathen, R.L., Consumption of low TDS water, Water Quality Association Science Advisory Comittee, 1993.

[5] National secondary drinking water regulations, United States Enverimental Protection Agency, http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm, 2009.

[6] Guidelines for Drinking Water Quality, World Health Organization. vol 1., Geneva, 2008.

[7] Counciil directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Offical Journal of the European Communities. L330/32, 1998.

[8] Koseki, M. and Nakagawa, A., Sensory evaluation of taste of alkali –ion water and bottledmineral waters, Journal of Food Sciences. vol. 68, no. 1, pp. 354-358, 2003.

UÇAK MODERNİZASYONUNDA YAPAY SİNİR AĞLARI KULLANIMIYLA BUZLANMA TAHMİNİ

ICING PREDICTION MODEL USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK FOR AIRCRAFT MODERNIZATION

Serhat FENAR [a] , Hamdi ERCAN [a] ve Sezai Alper TEKİN [b]
[a] Erciyes Üniversitesi, Uçak Elektrik-Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye,
E-posta: hamdiercan@erciyes.edu.tr
[b] Erciyes Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Müh., Kayseri, Türkiye,
E-posta: satekin@erciyes.edu.tr

Özet

Uçak yüzeyindeki yapısal buzlanma donma noktasına yakın ortam sıcaklıklarında havada bulunan özellikle süper soğumuş su buharının veya damlacıklarının uçak yüzeyine çapması ve birikmesiyle meydana gelmektedir. Uçakta oluşan buzlanma, uçuş performanslarını olumsuz yönde etkileyerek uçağın pozitif dengesini bozup, uçuş güvenliğini azaltan önemli bir olaydır. Kötü hava koşullarında uçaklarda meydana gelen buzlanma aerodinamik yapıyı bozarak birçok kazaya neden olmuştur. Uçaklarda güvenlik önlemi olarak bulunan buz önleyici sistemler her ne kadar buzun etkisini azaltsa da, hava şartlarındaki ani değişimler uçağın her an buzlanma riski altında bulunmasına sebep olmaktadır. Ortam sıcaklığı ve nem oranı uçaklarda buzlanmaya sebep olan en önemli parametreler olarak sayılabilir.

Bu çalışmada yapay sinir ağları kullanılarak hava durumu performans parametrelerine göre uçaklarda meydana gelen ve kimi zaman hayati önem taşıyan buzlanma risk tahmini yapılmış ve ayrıca sonuçların iyileştirilmesine yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Buz kalınlığı, uçak modernizasyonu, yapay sinir ağları

Abstract

Structural ice occurs with accretion of super-cooled liquid onto the external surfaces of the airplane during flight. The icing on to airplane is one of the most serious hazards which affects the aircraft performance and degrades the airworthiness of the aircraft. Adverse weather conditions are the reason of some aircraft accidents with aerodynamic performance degradation induced by ice accretion. Although de-icing systems using for safety in airplanes reduces the effect of the icing, sudden deviations on the weather condition cause the risk of icing. The most important parameters causing to icing are temperature and humidity.

In this paper, the icing thickness has been predicted by using neural network for airplane according to the performance parameters related to weather conditions. Also, the suggestions for improving the results have been presented.

Keywords: Icing thickness, aircraft modernization, artificial neural network

1. Giriş

Havadaki buhar veya sıvı haldeki nemin herhangi bir nedenle soğuyup katılaşmasına buzlanma denilmektedir [1]. Uçaktaki yapısal buzlanma ise donma noktasındaki ortam sıcaklıklarında havada bulunan su damlacıklarının (Özellikle süper soğumuş su damlacıkları) uçak kanatlarının hücum kenarlarına, motor hava girişlerine ve dış yüzeylerine çarpmasıyla meydana gelmektedir [2].

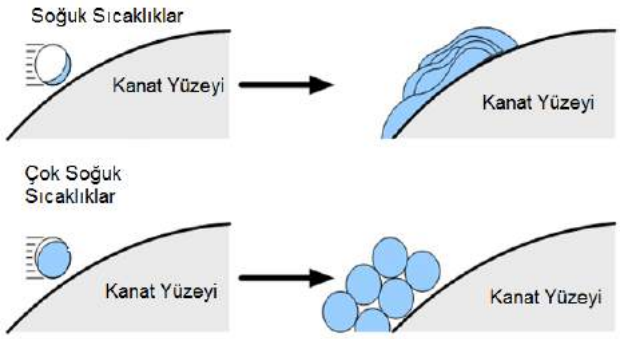
Uçakta yapısal buzlanmanın oluşumu için başlıca iki faktör bulunmaktadır. Bunlar sıcaklık ve havadaki sıvı su miktarı olarak bilinmektedir [3].

Su damlacıkları 0°C'de donmasına rağmen -40°C'lere kadar donmadan soğuyabilmektedir. -40°C'lere kadar donmayan su damlacıklarına süper soğumuş su damlacıkları denilmektedir [4]. Su damlacıklarının 0°C ile -15°C arasında süper soğumuş su damlacıkları, -15°C ile -20°C arasında karışık ve -20°C ile -40°C arasında ise tamamen buz halinde bulundukları Şekil 1'de görülmektedir.

Şekil 1. Su damlacıklarının çeşitli sıcaklıklardaki halleri

Süper soğumuş su damlacıklarının kanat yüzeyine çarpmasıyla oluşan etki Şekil 2'de görülmektedir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye



Şekil 2. Sıcaklığın kanat yüzeyindeki buzlanmaya etkisi

Şekil 2'de görüleceği gibi süper soğumuş su damlacıkları soğuk sıcaklıklarda donmadan önce yüzeye iyice yayılmakta ve çok soğuk sıcaklıklarda ise donmuş bir halde yüzeye çarpmaktadır.

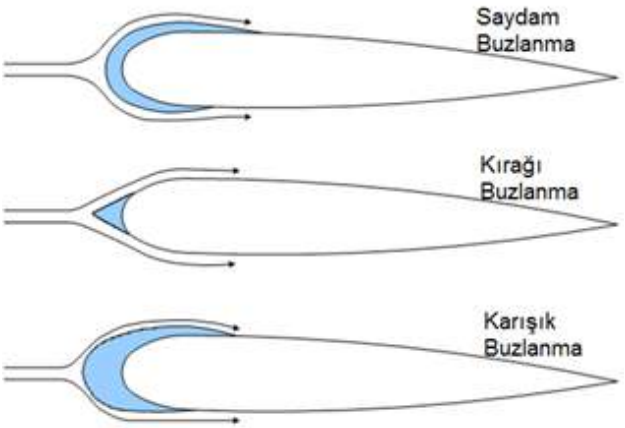
Uçak buzlanmalarındaki en önemli faktörlerden biri de havada bulunan sıvı haldeki su miktarıdır. Uçaklarda yapısal buz oluşması için havada yeterli miktarda sıvı halde su olması gerekmektedir. Su buharı, kar veya buz uçağa yapışarak kapsamlı bir buz birikimine neden olmamaktadır [5]. Havadaki sıvı haldeki su yoğunluğu buz birikim oranının tespitinde önemlidir. Genellikle daha çok su daha çok buz anlamına gelmektedir.

1.1. Buzlanma Türleri

Temelde iki çeşit buzlanma tipi vardır. Bunlar kırağı tipi buzlanma ve saydam buzlanmalardır. Üçüncü tip ise ilk ikisinin birleşmesiyle oluşan karışık tip buzlanmadır [3].

Kırağı tipi buz kaba, süt beyaz bir görünümde olup donmuş küçük su damlacıklarının uçak yüzeyine çarpmasıyla meydana gelmektedir. Bu tip buz sadece kanat profillerinin hücum kenarlarında genellikle hava akımının içine doğru ilerleme eğilimindedir. Bu durum genellikle buzlanma giderici sistemlerle önlenebilmektedir. Çünkü kırağı tipi buzun yapışkanlık özellikleri düşüktür [6]. Ancak, uzun süreli kırağı şeklinde buz birikimi, kanadın aerodinamik yapısını bozabileceğinden ve pilotun görüşünü engelleyebileceğinden dikkat edilmesi gereken bir husustur [7].

Fiziksel olarak cam görünümünde olan saydam buz, çok sert bir yüzeye sahiptir. Bu tip buzun yapışkanlık özellikleri yüksektir. Saydam buz kırağı buzdan daha yoğun, daha sert ve daha şeffaftır. Kırağı buzun aksine hücum kenarlarına tamamen yayılabilmektedir. Hatta şiddetli durumlarda uçağın bütün yüzeyini kaplayabilmektedir. Donma noktasına yakın sıcaklıklar, ortamda çok miktarlarda süper soğumuş su damlacıklarının olması ve uçağın yüksek hızlarda seyri, saydam buz oluşumunu desteklemektedir. Saydam buz oluşurken hava akımının içine doğru büyük ve düzensiz çıkıntılar gelişebilir. Bu tip buzlanma kırağı buza göre çok daha tehlikelidir. Buzlanma giderici ve önleyici sistemlerle en zor önlenebilen buzlanma şeklidir [7].



Şekil 3. Buzlanma tipleri

Karışık buz saydam ve kırağı buzun aynı yüzeyde ve bir arada oluşmasıyla meydana gelen buzlanma tipidir. Şekil 3'te kanat profilinde oluşan bu üç tip buzlanma görülmektedir.

1.2. Buzlanma Risk Sınıflandırması

Ulusal havacılık dairesine (Federal Aviation Administration, FAA) göre buzlanma riski izle, hafif, orta ve yüksek olmak üzere 4 farklı sınıf ile gösterilmektedir [8].

Adından anlaşılacağı üzere izle sınıfındaki buzlanma risk değerlendirmesinde buzlanma belirtileri vardır ve pilot tarafından izlenmelidir. Buz birikimi çok hafif olduğundan uzunca bir süre bu ortamda kalınmazsa bu sınıf buzlanma tehlikeli olmamaktadır.

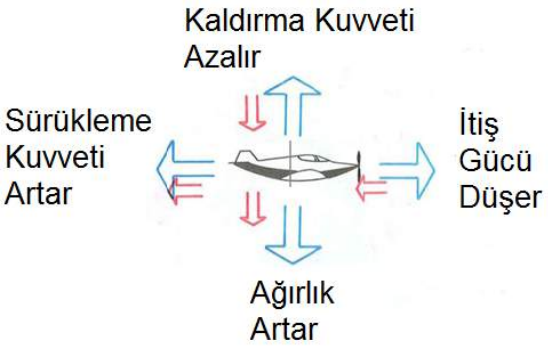
Hafif buzlanma riskine sahip ortamda uzun süreli (1 saat ve fazlası) uçulursa buzlanma birikimi sorun yaratabilmektedir. Bu durumda 1cm'lik buz kalınlığı 15-60 dakika içerisinde oluşmaktadır. Buzlanma önleyici sistem ile buzlanmanın olumsuz etkileri kısmen önlenebilmektedir. Orta seviye olarak adlandırılan buzlanma riskine sahip ortamda kısa süre bile kalınsa ciddi tehlike meydana gelmektedir. Bu tür buzlanma riski durumu buzlanma önleyici sistemin sık sık çalıştırılarak buzlanmanın önlenebileceği bir durumdur. 1cm'lik buz kalınlığı 5-15 dakika içerisinde oluşmaktadır. Bu duruma maruz kalındığında buzlanmaya neden olan ortamdan hemen çıkılmalıdır.

Yüksek seviye buzlanma riskine sahip bir ortamda ise buzlanma önleyici/giderici sistemler buz birikimine etki edemeyebilir. 1cm'lik buz kalınlığı 5 dakikadan az süre içerisinde oluşmaktadır. Uçağın performansı ve kontrolü çok kısa sürede ciddi anlamda etkileneceğinden pilotun ani müdahalesi gerekmektedir. Bu duruma maruz kalındığında buzlanma önleyici/giderici sistemler devreye sokulmalı ve ortamdan hemen çıkmaya çalışılmalıdır.

1.3. Buzlanmanın Uçak Performansına Etkileri

Kanatlarda ve uçak dış yüzeyinde biriken buz, kanadın aerodinamik özelliğini bozarak kaldırma kuvvetinin azalmasına, sürükleme kuvvetinin artmasına ve uçağın toplam ağırlığını artmasına neden olmaktadır. Bu da

uçağın minimum havada tutunma hızının (stol hızının) yükselmesine yol açmaktadır. Şekil 4'te buzlanmanın uçak performansına etkileri görülmektedir.



Şekil 4. Buzlanmanın uçak performansına etkileri

Uçuş kontrol yüzeylerinin donması, dikey ve yatay kuyruk kontrol yüzeylerindeki buzlanmalar güç ve hız kaybı dışında uçağın kararlılığının bozulup kontrolünün zayıflamasına neden olmaktadır [9].

Ayrıca, uçaktaki pitot tüpü gibi değişik amaçlı hava deliklerinin buzlanarak tıkanması hava hızı göstergeleri, altimetre gibi cihazların yanlış bilgi vermesine neden olabilmektedir.

2. Yapay Sinir Ağları Kullanımıyla Uçaklarda Buzlanma Risk Tahmini

Yapay Sinir Ağları (YSA), basit biyolojik sinir sisteminin çalışma şeklini benzetim etmek için tasarlanan programlardır [10]. Benzetim edilen sinir hücreleri nöronlar içerirler ve bu nöronlar çeşitli şekillerde birbirlerine bağlanarak ağı oluştururlar. Bu ağlar öğrenme, hafızaya alma ve veriler arasındaki ilişkiyi ortaya çıkarma kapasitesine sahiptirler [11].

YSA özellikle eksik, belirsiz, karmaşık ve bulanık bilgileri işlemekteki başarıları nedeniyle, birçok endüstriyel probleme uygulanabilmektedir. Yapılardaki paralellikten dolayı çok hızlı çalışabilmeleri, onların özellikle gerçek zamanlı olaylarda çalışmalarını sağlamaktadır [12].

YSA ile uçaklarda meydana gelen buzlanma risk tahmini yapılırken buz oluşumunu etkileyen 3 giriş ve 1 çıkış parametresi kullanılmaktadır.

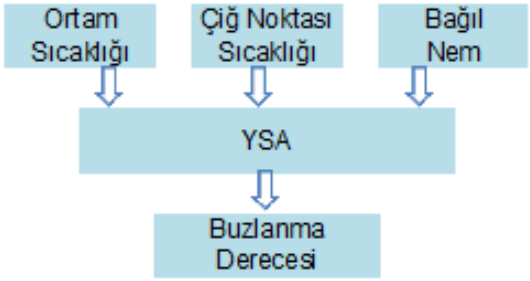
Giriş Parametreleri;

- Ortam Sıcaklığı
- Çiğ Noktası Sıcaklığı
- Bağıl nem

Sistemin Çıkışı;

- Buzlanma derecesi

Yukarda verilen parametrelerin buzlanmaya etki ettikleri tespit edilmiştir. Bunların etkisi ile tasarlanacak YSA sisteminin çıkışı ise bize buzlanma derecesini verecektir.



Şekil 5. Tasarlanan YSA'nın blok diyagramı

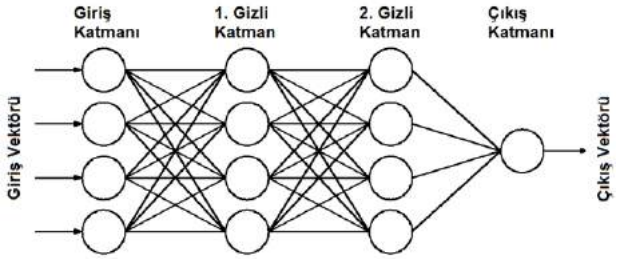
Buzlanma derecesi tahmin için Şekil 5'te blok diyagramı gösterilen 3 girişli tek çıkışlı ileri beslemeli YSA modeli kullanılmıştır. YSA'nın eğitiminde, Tablo 1'de verilen buzlanmayı etkileyen performans parametreleri kullanılmıştır [13]. Bu verilerden 180 tanesi eğitim verisi 14 tanesi ise ağın performansını test etmek için test verisi olarak kullanılmıştır.

Tablo 1. Eğitim verisi örnekleri

No	Ortam Sıcaklığı (°C)	Çiğ Noktası Sıcaklığı (°C)	Bağıl Nem (%)	Buzlanma Risk Derecesi
1	-6	-9,625	68,8	0,1
2	-12,6	-4,9	70,3	0,7
3	15	-2	60	0
4	2,2	-0,4	68	0,8
5	-17,5	-0,9	74	1,4
6	-11,15	1,3	71	1,1
7	-19,4	-2,8	76	1,6
…..	…..	…..	…..	…..
…..	…..	…..	…..	…..
193	-18,6	-8,9	89,2	2,8
194	-19,6	-3	71,2	0,8

Matlab programında YSA'nın eğitimi için gerekli olan veri kümeleri matris şeklinde hazırlanmıştır. Bunlardan giriş verileri 3x180 boyutunda, çıkış verileri ise 1x180 boyutundadır.

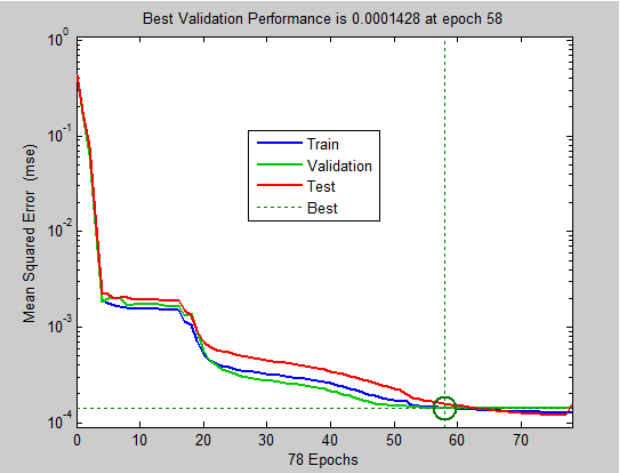
Matlab programında matris şeklindeki veriler normalize edilip, problemi çözmek için gerekli olan ağ yapısı tanımlanmıştır. Tasarlanan YSA mimarisi Şekil 6'da görüleceği gibi 1 giriş, 1 çıkış ve 2 gizli katmana sahiptir.



Şekil 6. Tasarlanan YSA mimarisi

Öğrenme algoritması olarak Levenberg-Marquardt algoritması kullanılmıştır. Öğrenme algoritmasının

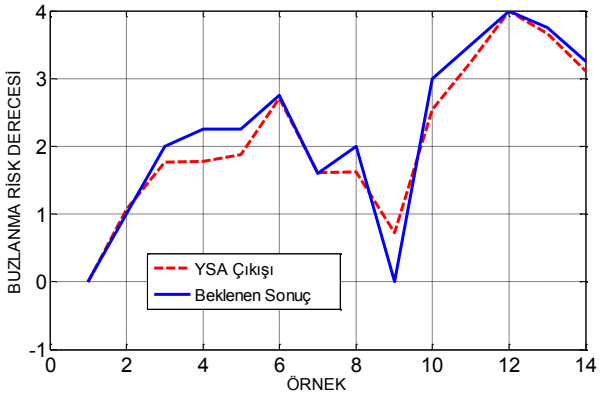
parametreleri belirlendikten sonra ağın eğitim işlemi yapılmıştır. Şekil 7'de YSA'nın öğrenme performans grafiği görülmektedir.



Şekil 7. YSA'nın performans grafiği

İleri beslemeli YSA'da hata istenilen düzeyin altına indiği zaman veya belli bir iterasyon sayısı tamamlandığında öğrenme ve ağın eğitimi bitmiş olur. YSA ile buzlanma risk tahmini için istenilen hata düzeyine Şekil 7'de görüldüğü gibi 78 iterasyon sonunda ulaşılmıştır.

Eğitimin tamamlanmasından sonra, ağın güvenilirliğini sınamak amacıyla, test verilerine yapay sinir ağının vermiş olduğu cevap ile test verilerinin gerçek çıkış değerleri karşılaştırılmıştır. YSA çıkışı ile beklenen sonuç arasındaki ilişki Şekil 8'de görülmektedir. Şekil 8'den de görüldüğü gibi YSA buzlanma risk derecesini tahmin etmede başarılıdır.



Şekil 8. YSA'nın test verilerine verdiği cevap ile istenen sonuçların grafik gösterimi

3. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, uçaklarda meydana gelen ve hayati önem taşıyan buzlanma risk tahmini yapay sinir ağları kullanımıyla hava durumu performans parametrelerine göre yapılmıştır. YSA'nın buzlanma risk tahminini öğrenmede oldukça hızlı ve başarılı olduğu benzetim sonuçları doğrultusunda gösterilmiştir. Gerçek verilerle yapılan bu çalışmanın uçaklarda bulunan buz önleyici sistemlere kolaylıkla uyarlanabileceği görülmektedir. İleriki çalışmalarda sistemin deneysel olarak rüzgar tünelinde gerçekleştirilerek donanımsal olarak tasarlanması düşünülmektedir.

Kaynaklar

[1] Ertaş, SK., Meteoroloji Ders Kitabı. DHMİ Genel Müdürlüğü, Ankara, pp. 116 , 2004.
[2] Lankford, TT., Aircraft Icing. McGraw-Hill, New York, pp 336, 2000.
[3] FAA., Chapter 10 Icing. Web sayfası: http://www.faa.gov/documentlibrary/media/advisory_circular/ac%2000-6a%20chap%2010-12.pdf, (Erişim tarihi: Ocak 2014)
[4] Hansman, RJ Jr., Droplet size distribution effects on aircraft ice accretion. Journal of Aircraft, 22 (7),pp. 503–508, 1985.
[5] NASA., A Pilot's Guide to in Flight Icing. Web page:http://aircrafticing.grc.nasa.gov/courses/inflight_icing/main.html, (Erişim tarihi: Ocak 2014).
[6] Civil Aviation Authority., Aircraft icing handbook. Lower Hutt, New Zealand, pp. 108 , 2000.
[7] Cusimano. L., Flight in icing conditions. FAA, Advisory Circular 91-74,2002.
[8] Osterberg, j., Streu, D., Prentice, R., Aviation weather services. FAA, Advisory Circular 00-45E, 1999.
[9] Kakaşçı, U., Uçuşta buzlanma ve uçak performansına etkileri. 88. II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 15-17 Ekim 2008, İTÜ, İstanbul, 2008.
[10] Sağıroğlu Ş., Yapay Sinir Ağları ve Mühendislik Uygulamaları Semineri. Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, 2001.
[11] Yurtoğlu H., Yapay Sinir Ağlan Metodolojisi ile Öngörü Modellemesi. Yıldız Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Uzmanlık Tezi, 2006.
[12] Bayır R., Yapay Zeka Teknikleri Dersi Ders Notları. Karabük Üniversitesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü, 2008.
[13] Mingione, G., Barocco, M., Flight in icing conditions. French DGAC,1997.

KRANK MİLİNİN MODELLEME VE ANALİZİNİN CATIA PROGRAMINDA YAPILMASI

MODELING AND ANALYSIS OF A CRANKSHAFT BY 3D CAD DESIGN SOFTWARE CATIA

L. ÖZKAN[a], F. ÖZKAN[b], Ş. AYKUT[a]
[a] Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Rahva 13000 Bitlis, Türkiye
E-posta: lozkan@hotmail.com, saykut@beu.edu.tr
[b] Niğde üniversitesi, Teknik Bilimler MYO Elektrik ve Enerji Bölümü Doğal Gaz ve Tesisat Teknolojisi Programı, Derbent Yerleşkesi 51200 Niğde, Türkiye

Özet

Teknolojinin gelişmesi ve imalat sanayinde bilgisayarların yoğun olarak kullanılmasıyla imalat teknolojilerine hız kazandırmıştır. Bilgisayarlar artık imalatın hemen her aşamasında kullanıcıya bilgisayar destekli tasarım, çizim ve mühendislik programları aracılığıyla birçok kolaylık sunmaktadır. Bilgisayar destekli tasarım ve imalat yöntemleri kullanılarak krank mili imalatının gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımların kullanılmasıyla krank mili imalat prosesi aşaması imalat süresi, işçilik ve imalatta kullanılan tezgah en aza indirilmiştir. Üretim kapasitesi arttırılarak yüksek rekabet gücünün olduğu endüstriyel sektörde yer alabilme imkanı sunulmaktadır. Bu çalışmada krank milin tasarım, modelleme ve analizini CATIA paket programında inceleyeceğiz.

Anahtar kelimeler: Tasarım, Krank Mili, Analiz, CATIA,CAD/CAM

Abstract

Computers, which have begun to be used widely in manufacturing industry with the developments in technology, have made a great contribution to the manufacturing technologies. They ease the required human efforts by taking a part in almost every stage of the manufacturing processes with the help of the computer aided design, drawing and other engineering software. In this project, a crankshaft manufactured by computer aided design and other manufacturing methods. By using CAD software, minimum crankshaft manufacturing period, minimum labor work and auxiliary costs have been provided. It is crucially needed to use CAD Software to increase the manufacturing capacity for taking an active role in the highly competitive industrial business. We studied the design, modelling and analysis of a crank shaft in CAD software CATIA.

Keywords: Design, Crankshaft, Analysis, CATIA, CAD/CAM

1. Giriş

Krank mili pistonun doğrusal hareketini dört çubuk mekanizması ile dairesel dönme hareketine çeviren içten yanmalı motorların en büyük ve önemli bir parçasıdır. Krank milinin gövdesi, şaft yatakları ve biyel muylularından oluşur. Mil gövdesi ana yataklarda dönerken, biyel muyluları biyellerle bağlantıyı sağlar. Motorun doğrusal hareketinin kaynağı silindir içindeki yanma ve bu yanmadan kaynaklanan ani hareketler söz konusu olduğundan motorun doğrusal hareketi lineer değildir. Krank mili kullanmaktaki amaç, lineer olmayan doğrusal hareketi daha pürüzsüz dairesel dönme hareketine çevirmektir. Ayrıca belirtilmeli ki volan kullanımı da ani hareketlerin ve şokların lineer hale getirilmesine yardımcı olmaktadır [1].

Krank milinin hem mukavemetinin çok yüksek olması, hem de esnek olması istenir. Birbirine zıt gibi gözüken bu iki kavram bir orta noktada buluşur ve krank milinin zorlanmalarda çatlamaması veya kırılmaması için bir miktar esnekliğe sahiptir. Küçük çelik miller ise, yine kalıplar içinde dövme yöntemi ile imal edilirler. Büyük krank milleri, açıkta dövülerek muylularla gerçek açısal sapmalar kazandırılır ve son tesviye işlemleri uygulanarak tamamlanırlar. Krank milleri mukavemeti yüksek dövme çelikten imal edildiği gibi, basınçlı döküm yöntemiyle de seri imalatları mümkündür. Krank milinin üretim maliyetlidir. Çizelge 1'de krank milinin imalat aşamaları görülmektedir.

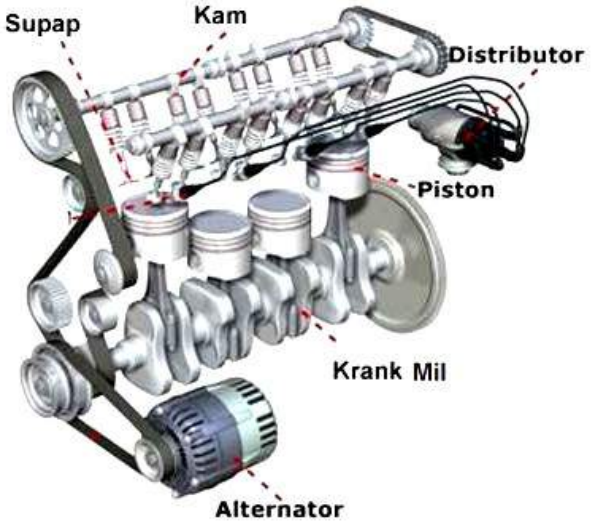
Krank milin mukavemetini artırmak için muylu ve kolun birleştiği yer sertleştirmenin uygulandığı bölge içine alınır. Bu bölgede gerilim yoğuşumunu gidermek amacıyla muylu ile kolun birleştiği yere yine dövme ile yuvarlanma kavisi verilir. Bu çok hassas bir işlem sürecidir ve sfero döküm ile imal edilen krank millerinde bu geçiş bölgeleri kuvvet akışına daha uygun tasarlanabilir.

Krank mili pistonlardan aldığı öteleme hareketini dairesel harekete çevirerek tekerleklere iletilen bütün momentin kendi üzerinden alınmasını sağlar. Krank miline bağlı trigel kayışı ile kam miline hareket verirken yine krank miline bağlı volan mekanizması ile motorun boştaki momentumunun korunması sağlanır. Bir disk şeklinde olan volan hareketiyle beraber momentum oluşturur ve pistonlardan güç alınmadığı yani yanma olmadığı anlarda motorun dönel sürekliliğinin özellikle de momentumunun korunmasını sağlar.

Krank milinin sürtünme yüzeylerinin yağlanmasında, krank mili içine açılan yağ kanallarından faydalanılmaktadır. Bu kanallar hem krank mili hem de krank pim yatay eksenleri yönünde açılır ve krank kollarına paralel olarak açılmış kanallarla birleştirilir. Bunun nedeni muylu ile biyel arasındaki yağ filmini azaltmaktır. Çünkü yağ filmi optimum

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

kalınlığa sahip olmalıdır, fakat fazla kalın olması ya da fazla ince olması istenmez. Yağ filminin asıl vazifesi aşınma ve sürtünmeye karşı koruyucu olmasıdır.



Şekil 1. Sistem üzerinde krank milinin gösterimi [3]

Krank milleri ana yatak ve biyel muyluları, kaldıraç kolları, denge ağırlıkları ve flanş gibi kısımlardan oluşmaktadır. Krank milleri tüm motorların en pahalı ve en önemli parçalarıdır. Şekil 1'de sistem üzerinde krank milinin gösterimi görülmektedir. Hasar görmesi durumunda tamiri mümkün olmadığı gibi yapımında oluşacak kusurların sonradan düzeltilmesi de son derece zordur [2].

Çizelge 1. Krank Milinin İmalat aşamaları [4]

S.No	Yapılan İşlemler	Kullanılan Tezgahlar
1	Krank milinin dökümü	Kum kalıp tezgahı
2	CNC tezgahına bağlama yüzeylerinin	Üniversal torna tezgahı
3	Yüzey işlemleri	5 Eksenli CNC
4	Alın tornalama	Üniversal torna
5	Volan bağlantı deliklerin delinmesi	Üniversal freze tezgahı
6	Taşlama	Krank taşlama
7	Balans alma	Balans alma tezgahı

2. Bilgisayar Destekli Modelleme Yöntemleri

Topoloji optimizasyonda üç boyutlu endüstriyel tasarımınnın şekli kompleks matematiksel denklemlerle tanımlanmaktadır. Maksimum ya da minimum hedeflenen değerlere ve bu denklemin iterasyon sayısına göre üç boyutlu şekilsel çözümler elde edilmektedir. Nümerik çözüm yöntemlerinde program; zorlanmaların yüksek olduğu toposlara, yani yerlere malzeme yığmakta veya E-Modülü, yoğunluğu yüksek olan malzeme değerlerini sanal olarak seçmektedir. Buna karşın gerilmelerin az ya da hiç olmayan yerlerden sanal olarak malzeme eksiltmektedir. Buradaki gerilme boşlukları E-modülü ya da yoğunluğu çok düşük olan poröz malzeme değerleri, program tarafından sanal olarak seçilmektedir.

Optimum yapısal modele sahip olmayan taslak model ile tasarım çalışmalarına devam edildiği taktirde, sonradan yapılacak optimizasyon çalışmaları istenen amaçlara ulaşmada yeterli olmayacaktır. Herhangi bir makine elemanı tasarlayabilmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Makine elemanlarının tasarımı ile ilgili optimizasyonlar yapılmıştır [5-8].

Günümüzde topoloji optimizasyon yöntemi ile ilgili çok sayıda hazır paket programları bulunmaktadır. Bunların kullanımı basitleştirilmiş, kolaylaştırılmış, kabul edilebilir ve gerçeğe daha yakin sonuçlar elde edilebilmektedir. Çok sayıdaki optimizasyon hazır paket programlarının genel bir kullanımı söz konusu olmamaktadır. Bazı optimizasyon programları belli endüstriyel tasarımları için memnun edici hatta kullanılabilir sonuçlar verirken, başka tasarımlar için kullanılmaz sonuçlar da verebilmektedirler. Bazı mühendislik danışmanlık bürolarının belli tasarımlar ve ürünler için geliştirdikleri optimizasyon programlarını piyasada bulmak mümkündür. Yaygın olarak kullanılan programlar;

- ANSYS
- NASTRAN
- MATLAB
- CATIA
- PRO/ENGINEER
- CREO
- ABAQUS
- SOLIDWORKS
- INVENTOR örnek olarak verilebilir.

3. Krank Milinin Modellemesi

Modelleme işlemi üç şekilde; kafes, yüzey ve katı model olarak bilgisayar ortamında yapılmaktadır. En çok kullanılan modelleme türü katı modellemedir. Bu işlem için birçok bilgisayar program yazılımları geliştirilmiştir. Makine mühendisliği alanında kullanılan belli başlıları; CATIA, MasterCAM, Cimatron, I-DEAS, Unigraphics, ProEngineer, Solidworks ve AutoCAD yazılımlarıdır.

Krank mil modellemesi için CATIA yazlımı kullanılmıştır. CATIA diğer yazılımlara göre daha görsel ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Türkiye ve Dünya otomotiv ana sanayisinin en çok tercih ettiği yazılım olup; ürün tasarım, üretim ve geliştirme aşamalarının tamamında kullanılmaktadır. CATIA bünyesinde modül mantığıyla şu konularda çalışılabilir;

- Mekanik tasarım,
- Yüzey tasarımları,
- Analiz ve simülasyon,
- Üretim (CNC, kaynak, kompozit malzeme vb.),
- Takım donanım ve sistem mühendisliği.

CATIA tam parametrik bir programdır. Her şeyi birbirine formüllerle bağlayarak modüller arası çalışmayı kolaylaştırdığı gibi tasarımlarınızda kullandığınız değerleri ve verilerinizi otomatize edebilir, kendi formüllerinizle Catia'da çalışabilirsiniz. Tam parametrik olması sayesinde; elektronikten yapı elemanlarına ve makine teknolojilerine varıncaya dek birçok endüstri koluna bir arada hitap edebilen hibrit bir ara yüze sahiptir.

CATIA, üretilecek olan ürünlerin daha üretilmeden her yönüyle sanal ortamda gerçeğe uygun şekilde üretilmesini

sağlayarak işletmelere maliyet ve zaman kazandırmayı amaçlamaktadır. Tasarımcı tarafından bir ürün CATIA'da tasarlandıktan sonra ergonomi uzmanı, tasarımın ergonomisi açısından yapacağı araştırmaları CATIA üzerinden yapabilir. Mühendisler tasarlanmış parça için sonraki aşamalarda gerçekleşebilecek olan her tür mukavemet analizleri, kalıplanma işlemleri ve son revizyonların uygulanması işlemlerini CATIA'dan başka bir araca ihtiyaç duymadan yapabilirler. Bütün bu işlemler sanal ortamda sorunsuz şekilde yapılarak teknik kararlar verildikten sonra gerçek imalat yapılır. Özetle: CATIA programı endüstriyel ürünlerin tasarım, analiz ve imalatını hızlı, kolay ve güvenilir şekilde yapabilen bir mühendislik yazılımıdır [9].

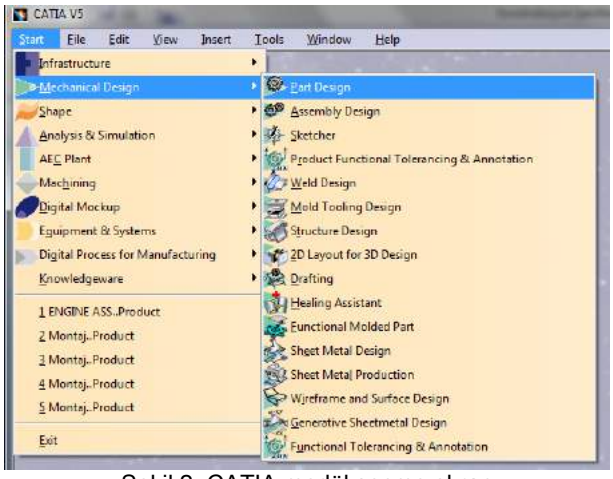
Krank milinin modelleme ve analiz ile iligili yapılan çalışmalar; Garg ve Baghl [10] krank mili ve krank kolunu Pro/E yazılımı yardımıyla modelleyip ANSYS yazılımı yardımıyla analiz etmişlerdir. Sonuçlar krank milinde maksimum gerilim değeri, toplam şekil değiştirme ve gerinim azalırken, mukavemet değerinde artış olduğunu göstermiştir. Ağırlığının azalmasıyla atalet kuvveti, üretim maliyeti azalmış ve motorun performansı artırılmıştır. Balamurugan [11] mühendislik modelleme ve optimizasyon programları sayesinde krank mili üzerinde incelemelerde bulunmuş ve iki farklı otomobil firmasının dövme çelik ve sünek dökme demirden yapılmış krank millerinin yorulma performansını karşılaştırmıştır. 3D boyutlu modellemesi katı modelleme programı yardımıyla ve analizi ANSYS programı yardımıyla yapılmıştır. Optimizasyon olarak mevcut ebatlara uygun olarak krank milinin geometriği değiştirilmiş ve köşe yuvarlamaları yapılmıştır. Sonuç olarak millerin yorulma mukavemeti artırılmış, maliyetleri düşürülmüştür. Yingkui Zhibo [12] dizel motor krank milini 3D boyutlu olarak modelleyip ANSYS yardımıyla analiz etmişlerdir. Yüksek gerilim bölgelerinin krank kolu ve ana yatak kesişimi ile krank kolu ve biyel bağlantı yataklarının kesişimi noktasında olduğunu göstermişlerdir. Brahmbhatt ve Choubey [13] krank milini SolidWorks programı yardımıyla modelleyip ANSYS programı yardımıyla analizini yapmışlardır. Maksimum yer değiştirmenin biyel kolu muylusunun ortasında, maksimum gerilimin ana krank yatakları ile krank yanakları arasında ve yüksek gerinimin ana yatak yüzeylerinde gerçekleştiğini göstermişlerdir. Deshbhratar ve Suple [14] dört silindirli krank milini Pro/E yazılımı yardımıyla modelleyip ANSYS yazılımı yardımıyla analiz etmişlerdir. Maksimum yer değiştirmenin krank mili yüzeyinin ortasında, maksimum gerilimin ana krank yatakları ile krank yanakları arasında ve yüksek gerinimin ana yatak yüzeylerinde gerçekleştiğini göstermişlerdir.

3.1. CATIA'da Modelleme ve Analizin Yapılması

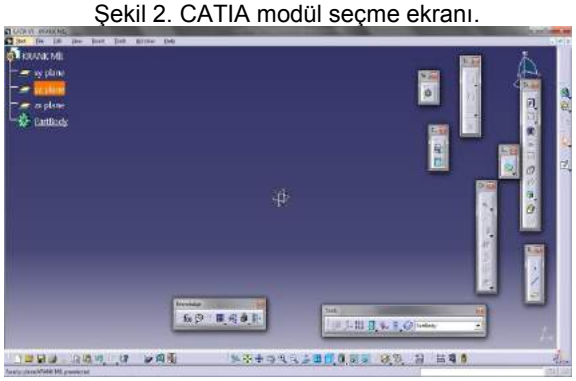
Makine elemanlarının çeşitli yüklere maruz kalması olasıdır. Gerilmeler, yüklerden dolayı oluşan deformasyonlar, geometrilerinde meydana gelen değişimler ve mevcut yükler altında makine elemanın güvenli görev yapıp yapamayacağını önceden kestirmek zordur. Tasarımcıların, optimizasyonlardaki algoritmaları kullanarak hedeflenen değerlere ulaşması daha da kolaylaşır.

Bu uygulamada Bilgisayar Destekli Mühendislik yazılımlarından CATIA V5 ile krank miline gelen gerilmeleri saptamak ve analiz yapmak amacıyla modülü üzerinde çalışılmıştır. Optimizasyon işlemine başlanılmadan problemin doğru bir şekilde tanımlanması çok önemlidir. Bu aşamada sınırlayıcı ve değişken parametrelerin belirlenmesi ayrıca isteğin net bir şekilde ifade edilebilmesi gerekir. Problemin tanımlanmasından sonra ikinci aşama olarak başlangıç değerleri ile gerekli analiz verileri elde edilir. Normal süreç içerisinde bu iki adım yer değiştirebilir. Elde edilen başlangıç değerlerine göre de optimizasyon problemleri tanımlanabilir.

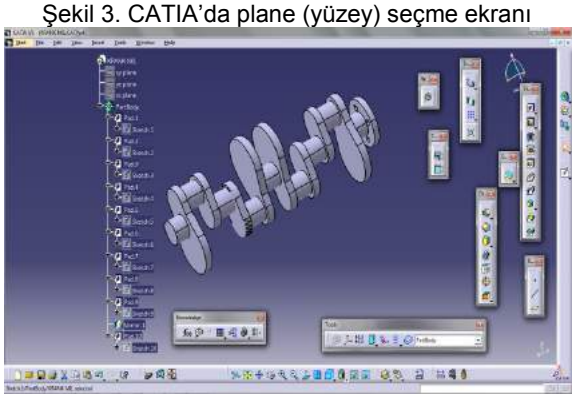
Şekil 2'de görüldüğü modeleme için modül seçme ekranı görülmektedir. Burada uygun modelleme taslağı seçilir. Şekil 3'te modelleme için yüzey seçilir. Şekil 4'te ise araç çubuklarını kullanarak krank mili modeli oluşturulur. Oluşturulan modele Şekil 5 ile statik analiz girişi yapılır. Şekil 6'da ise eksenel kuvvetlerin değeri girilerek analiz sonuçlarını hazır hale getirilir. Şekil 7'de analizlerin gösterilmesi görülmektedir. Şekil 8'de sabitleme noktalarında parçanın sabitlenmesi gösterilmesi görülmektedir.



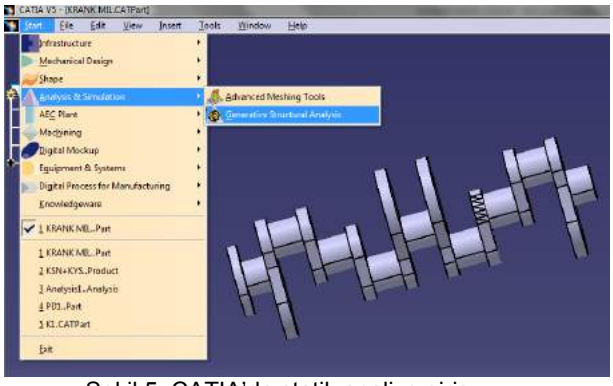
Şekil 2. CATIA modül seçme ekranı.



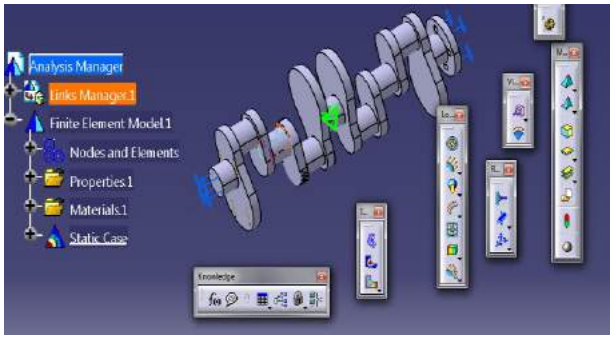
Şekil 3. CATIA'da plane (yüzey) seçme ekranı



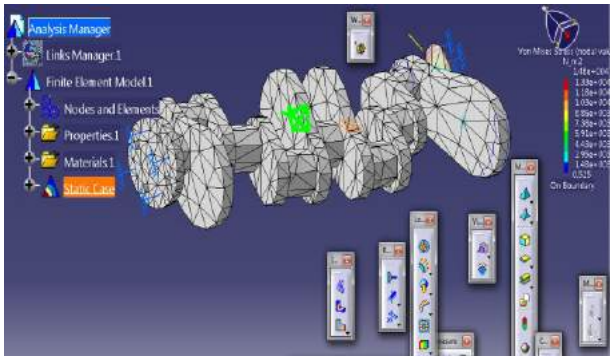
Şekil 4. Araç çubuklarını kullanarak modelleme yapılması



Şekil 5. CATIA'da statik analize giriş



Şekil 6. Eksenel kuvvetlerin girilmesi



Şekil 7. Gerilmelerin Gösterilmesi

3.2. CATIA'da Analiz

Analiz için gerekli değerler girildikten sonra CATIA ile hesaplamalar yaptırılarak istenen değerler elde edilir. Çizelge 2'de analiz için element tiplerini göstermektedir. Çizelge 3'te parçanın çalıma şartlarına uygunluğunun belirlenmesini ve Çizelge 4'te ise modellemede kullanılan malzemenin mekanik özellikleri verilmiştir. Çizelge 5'te F(x,y,z) ve M(x,y,z) bileşenlerine uygulana , tepkiler, artık ve bağıl hata kuvvetleri verilmiştir. Ayrıca Şekil 9'da krank mile uygulanan gerilme analizin Von Mises gerilme dağılımı durumu gösterilmiştir.

Çizelge 2. Element tipleri

Element Tipi	Düğümler Sayısı	Eleman sayısı
	720	1687
Element Kalitesi	Bağlanabilirlik	İstatistik
	TE4	1687 (100%)

Çizelge 3. Parça uygunluk değerleri

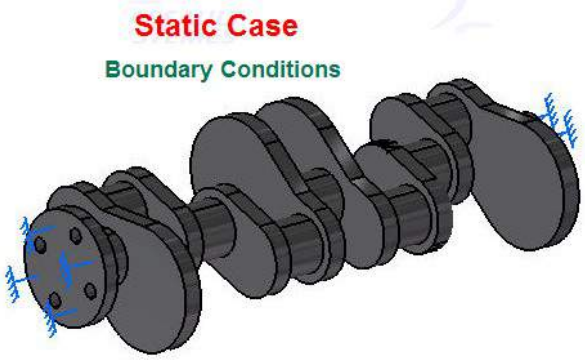
Kriter	İyi	Zayıf	Kötü	Çok Kötü	Ortalama
Bozulma	1167 (69,18%)	489 (128,99%)	31 (1,84%)	48,729	30,585
Esneme	1687 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0,332	0,606
Uzama oranı	1687 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	3,767	2,028

Çizelge 4. Modellemede kullanılan malzemenin mekanik özellikleri

Malzeme	Çelik
Elastite modülü	200, (MPa)
Posisson oranı	0,266
Yoğunluk	7860, (kg/m^3)
Işıl genleşme katsayısı	$1{,}17\times10^{-5}$, (1/°C)
Akma gerilmesi	250, (MPa)

Çizelge 5. Kuvvet ve moment eksenel gösterimi

Bileşenler	Uygulanan kuvvet	Tepkiler	Artıklar	Bağıl büyük hata
Fx, (N)	-1,6006 E-015	1,2434E-014	1,0834E-014	6,9082E-015
Fy, (N)	7,0941E-011	-7,0944E-011	-3,5111E-015	2,2388E-015
Fz, (N)	4,0000E-011	4,0000E+000	1,7764E-015	1,1327E-015
M.x (N.m)	7,5435E-011	-7,5438E-011	2,0101E-16	8,0613E-016
M.y (N.m	5,2400E-001	5,2400E-001	3,2196E-015	1,2612E-014
M.z (N.m	9,2932E-012	9,2932E-012	-4,9789E-016	1,9967E-015



Şekil 8. Parça sabitlenmesinin gösterilmesi

Şekil 9. Krank mile uygulanan gerilme analizin von Mises gerilme dağılımı durumu

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, bilgisayarlı destekli tasarım ve imalat yöntemleri kullanılarak krank mili imalatının ve modellemesi gerçekleştirilmesiyle;

- Uluslararası standartlara uygun yazılım ve ekipman kullanılmış,

- Operatör ve teknik personelin teknolojiyi yakından takip etmesi sağlanmış,
- Krank mili imalat prosesi aşaması en aza indirilmiş,
- Krank milinin imalatında kullanılan tezgah sayısı en aza indirilmiş,
- İmalat süresi % 50 düşürülmüş,
- İşçilik saatinde % 50 lik bir kazanç sağlanış,
- Üretim kapasitesi yaklaşık olarak iki katına çıkartılmıştır.

CATIA'da modelleme yapmak bir çok programa göre hızlı ve kolaydır. Bunun yanında görsel efektleri de üst seviyededir. Modelleme için öncelikle parçanın taslak çizimi yapılır, kalınlık verilerek parçaya üç boyut kazandırılır. Krank mili çizmek için önce flanşı çizilir sonra piston bağlantı yeri çizilir. Parça simetrik olan yere kadar ayrı ayrı çizilir sonra diğer tarafı aynalanarak çizim tamamlanmış olur.

Kaynaklar

[1] Thriveni, K. and JayaChandraiah, B., Modeling and Analysis of the Crankshaft Using Ansys Software, International Journal of Computational Engineering, Research Vol, 03,Issue, 5 May, pp: 84-89, 2013

[2] http://www.bilgiustam.com/krank-mili-nedir-nasil-calisir/ (17 Aralık 2013)

[3] http://www.eparcacim.com.tr/news17/Motor-nedir-Motor-nasil-calisir- Zamanlamasına gore-motor-cesitleri nelerdir- (15 Aralık 2013)

[4] http://timak.balikesir.edu.tr/pdf2012/TMK09.pdf (15 Aralık 2013)

[5] Esping, B., Design Optimisation as an Engineering Tool, Structural Optimisation, 10, pp. 137-152, 1995.

[6] Çalışkan, M., İnnovatif Endüstriyel Tasarımlarda Bilgisayar destekli Optimizasyon Yöntemleri, Ders Notları, Sakarya, 2013.

[7] Bendsoe, M.P. and Noboru, K., Generating optimal topologies in structural design using a homogenization method, Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering 71(2): 197-224, 1988.

[8] Yang, R.J. and Chuang, C.H., Optimal Topology Design Using Linear Programming, Structural Optimization, 68, pp. 265-290, 1993.

[9] MEGEP, Motorlu Araçlar Teknolojisi, Sabit Motor Parçarı, Ankara, 2011.

[10] Garg, R. and Baghla, S., "Finite element analysis and optimization of crankshaft", International Journal of Engineering and Management Reaserch, vol-2,Issue-6,ISSN: 2250-0758, pp:26-31,2012.

[11] Balamurugan, C.M., Krishnaraji R., Sakhivel, M., kanthavel, K., Deepan Marudachalam M.G, Palani, R., Computer Aided modelling and optimization of Crankshaft, International Journal of scientific and Engineering Research, Vol-2, issue-8, ISSN:2229-5518, pp:1-6, 2011.

[12] Yingkui, G. and Zhibo, Z., Strength Analysis of Diesel Engine Crankshaft Based on PRO/E and ANSYS, Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation, pp:362-364, 2011.

[13] Brahmbhatt, J., and Choubey, A., Design and Analysis of Crankshaft for single cylinder 4-stroke engine, International Journal of Advanced Engineering Research and studies, vol-1, issue-4, ISSN:2249-8974, pp: 88-90, 2012.

[14] Deshbhratar, R.J. and Suple, Y.R., Analysis and optimization of Crankshaft using FEM, International Journal of Modern Engineering Research, vol-2, issue-5, ISSN:2249-6645, pp: 3086-3088, 2012.

MOTOR BAĞLANTI KULAĞI OPTİMİZASYONU

OPTIMIZATION OF ENGINE MOUNTING BRACKET

L. Özkan [a], F. Özkan [b], Ş. Aykut [a]
[a] Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Rahva 13000 Bitlis, Türkiye
E-posta: lozkan@hotmail.com
[b] Niğde üniversitesi, Teknik Bilimler MYO Elektrik ve Enerji Bölümü Doğal Gaz ve Tesisat Teknolojisi Programı, Derbent Yerleşkesi, 51200, Niğde, Türkiye, E-posta: saykut@beu.edu.tr

Özet

Üretim yeteneğinin yanı sıra tasarım, tasarımı doğrulama yeteneği, temel teknolojilerin edinilmesi ve geliştirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, yeni teknolojilerin ve yöntemlerin tasarım ve tasarım doğrulama aşamalarında klasik yöntemlerin yerine kullanılması, teknolojiye dayalı rekabet ortamının oluşturulabilmesi için önem taşımaktadır. Bu çalışmada, tasarım modelinin belirlenmesinde veya elemanların ağırlıklarının azaltılmasında kullanılan yapısal topoloji optimizasyonu yöntemiyle taşıt elemanlarının tasarımı anlatılmış ve yöntemin klasik optimizasyon yöntemlerine göre tasarımda sağladığı avantajlar üzerinde durulmuştur. Uygulama olarak otomobillerde motor bağlantı elemanının topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Ürün maliyetinin azaltılması ve pazara sunum sürelerinin kısaltılması için tasarım aşamasında optimum modelin belirlenmesine yönelik bir yaklaşım kullanılmıştır. Taşıtlarda kullanılan parçalar, çalışma şartlarında genellikle dinamik zorlamalara maruz kalırlar. Bu nedenle, dinamik analiz yapılması elde edilen analiz sonuçlarına göre ideal tasarımların geliştirilmesi ve doğrulanması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Optimizasyon, Analiz, Motor Bağlantı Kulağı, CAD/CAM

Abstract

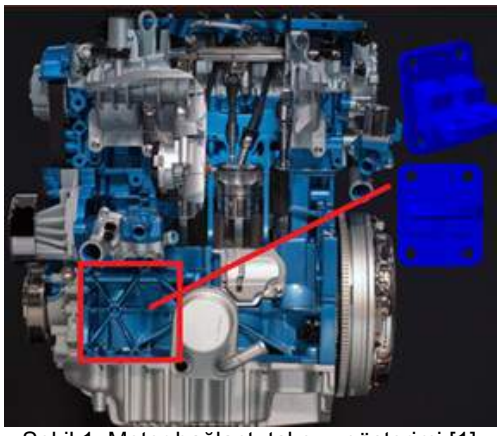
Beside manufacturing skills, it is required acquisition and developing of design, design verification skills and new technologies. Therefore, it is important to create a competitive environment based on technology at the stages of design and design verification using new technologies and manufacturing methods instead of conventional ones. In this study it is explained design of the vehicle components, employing the methods of structural topology optimization which is used to determining design methods and reducing components' weight and its advantages in design with respect to conventional methods are emphasized. In application, topology optimization of engine power transfer components has been performed. At the design stage, an approach to identify optimal model intended to reduce product cost and shorten marketing time is utilized. The parts used in vehicles are often exposed to dynamic stresses. Thus, based on the dynamic analysis and its results the optimal design should be developed and validated.

Keywords: Optimization, Analysis, Engine mounting bracket, CAD/CAM

1. Giriş

Motor bağlantı kulağı, motorun şaseye bağlantısını sağlayan dışı metal içerisi sert lastikten mamul bir bağlantı aparatıdır. Eskiyip deforme olması halinde motor sarsıntılı çalışır. İhmal edilmesi motor açısından oldukça mahsurlu olmaktadır. Motor bağlantı takozu, radyal ve eksenel vibrasyonları sönümleyen ve azaltan, aynı zamanda burulmaları da karşılayabilen, bakım gerektirmeyen, esnek ve elastik mafsallardır. Bu parçalar, çok geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bunlar; vibrasyon makineleri mafsalı, mil ve aksların yataklama bloğunun elastik olarak yataklanması, direksiyon ve debriyaj sistemleri gibi kullanım alanları vardır. Sistem içerisindeki görevleri; motordan gelen titreşimleri emerek şaseye geçmesini engellemek, motorun ivmelenme anında yana yatma eğilimini yumuşak bir şekilde karşılamak ve araç şasisinden gelen titreşimlerin motora ve vites kutusuna geçmesini engellemektir.

Motor bağlantı takozları, genellikle sert plastikten döküm yoluyla imal edilir. Araç şasesine ve motor kulaklarına bağlanması için iki yüzeyine birer saplama ve dayanımını artırmak için dış yüzeylerine alüminyumdan plakalar yerleştirilmiştir. Yapı itibarıyla darbelere dayanıklı olması gerekmektedir [1].



Şekil 1. Motor bağlantı takozu gösterimi [1]

2. Bilgisayar Destekli Modelleme

Bilgisayar Destekli Modellemede optimum yapısal modele sahip olmayan, taslak model ile tasarım çalışmalarına

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

devam edildiği taktirde, sonradan yapılacak optimizasyon çalışmaları istenen amaçlara ulaşmada yeterli olmayacaktır. Herhangi bir makine elemanı tasarlayabilmek için çeşitli optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Makine elemanlarının tasarımı ile ilgili optimizasyonlar yapılmıştır [2-5].

Günümüzde optimizasyon yöntemi ile ilgili çok sayıda hazır paket programları bulunmaktadır. Bunların kullanımı basitleştirilmiş, kolaylaştırılmış, kabul edilebilir ve gerçeğe daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir [6]. Çok sayıdaki optimizasyon hazır paket programlarının genel bir kullanımı söz konusu olmamaktadır. Bazı optimizasyon programları belli endüstriyel tasarımları için memnun edici hatta kullanılabilir sonuçlar verirken, başka tasarımlar için kullanılmaz sonuçlar da verebilmektedirler. Bazı mühendislik belli tasarımlar ve ürünler için geliştirdikleri optimizasyon programlarını piyasada bulmak mümkündür [6]. Yaygın olarak kullanılan programlar;

- ANSYS
- NASTRAN
- MATLAB
- CATIA
- PRO/ENGINEER
- CREO
- ABAQUS
- SOLIDWORKS
- INVENTOR örnek olarak verilebilir.

Modelleme işlemi üç şekilde; kafes, yüzey ve katı model olarak bilgisayar ortamında yapılmaktadır. En çok kullanılan modelleme türü katı modellemedir. Bu işlem için birçok bilgisayar program yazılımları geliştirilmiştir. Makine mühendisliği alanında kullanılan belli başlıları; CATIA, MasterCAM, Cimatron, I-DEAS, Unigraphics, ProEngineer, Solidworks ve AutoCAD yazılımlarıdır.

Motor bağlantı kulağının modellemesi için CATIA yazlımı kullanılmıştır. CATIA diğer yazılımlara göre daha görsel ve kullanım kolaylığı sağlamaktadır. Türkiye ve Dünya otomotiv ana sanayisinin en çok tercih ettiği yazılım olup; ürün tasarım, üretim ve geliştirme aşamalarının tamamında kullanılmaktadır. CATIA bünyesinde modül mantığıyla şu konularda çalışılabilir;

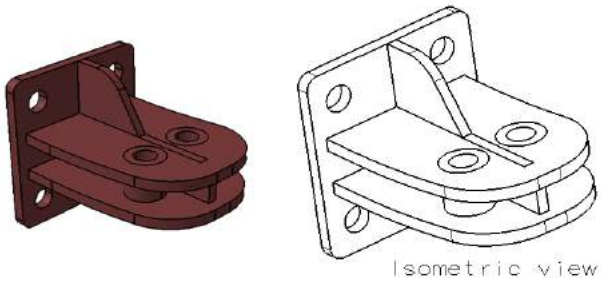
- Mekanik tasarım,
- Yüzey tasarımları,
- Analiz ve simülasyon,
- Üretim (CNC, kaynak, kompozit malzeme vb.),
- Takım donanım ve sistem mühendisliği.

CATIA tam parametrik bir programdır. Her şeyi birbirine formüllerle bağlayarak modüller arası çalışmayı kolaylaştırdığı gibi tasarımlarınızda kullandığınız değerleri ve verilerinizi otomatize edebilir, kendi formüllerinizle CATIA'da çalışabilirsiniz. Tam parametrik olması sayesinde; elektronikten yapı elemanlarına ve makine teknolojilerine varıncaya dek birçok endüstri koluna bir arada hitap edebilen hibrit bir ara yüze sahiptir.

CATIA, üretilecek olan ürünlerin daha üretilmeden her yönüyle sanal ortamda gerçeğe uygun şekilde üretilmesini sağlayarak işletmelere maliyet ve zaman kazandırmayı amaçlamaktadır. Tasarımcı tarafından bir ürün CATIA'da tasarlandıktan sonra ergonomi uzmanı, tasarımın ergonomisi açısından yapacağı araştırmaları CATIA üzerinden yapabilir. Mühendisler tasarlanmış parça için sonraki aşamalarda gerçekleşebilecek olan her tür mukavemet analizleri, kalıplanma işlemleri ve son revizyonların uygulanması işlemlerini CATIA'dan başka bir araca ihtiyaç duymadan yapabilirler. Bütün bu işlemler sanal ortamda sorunsuz şekilde yapılarak teknik kararlar verildikten sonra gerçek imalat yapılır. Özetle: CATIA programı endüstriyel ürünlerin tasarım, analiz ve imalatını hızlı, kolay ve güvenilir şekilde yapabilen bir mühendislik yazılımıdır [7].

3. Motor Bağlantı Kulağı

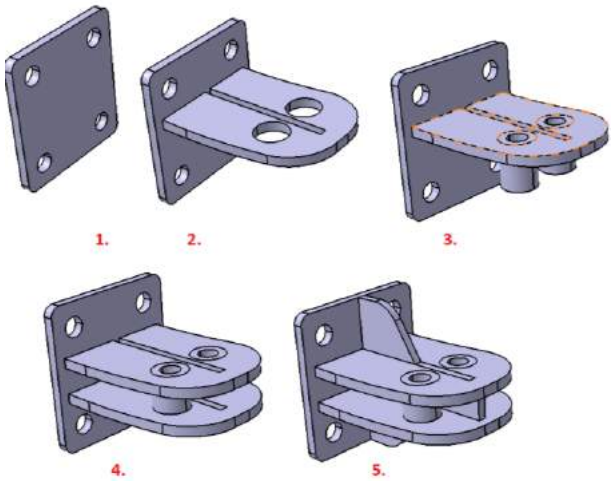
Motor ile şase arasındaki bağlantı elemanıdır. Otomobillerde kullanılan emniyet parçalarından biridir. Emniyet bir taşıtta olmazsa olmaz dediğimiz kriterlerin başında gelmektedir (Şekil 2'de bilgisayar ortamında modellenmiş motor bağlantı kulağı görülmektedir). Görevi motorun şaseye bağlantısını sağlamaktır. Motor bağlantı elemanları genel olarak ince taneli, kaynaklanabilir, normalize edilmiş yapı çeliklerinden imal edilirler.



Şekil 2. Motor kulağı modellemesi

3.1. Parça modellemesinin yapılması

Motor kulağının parçanın tasarımı CATIA programında modelinin yapılmıştır. Parçaların tek tek modellenip montajı yapılır. Şekil 3'te modellemesinin yapılış aşamaları gösterilmektedir.

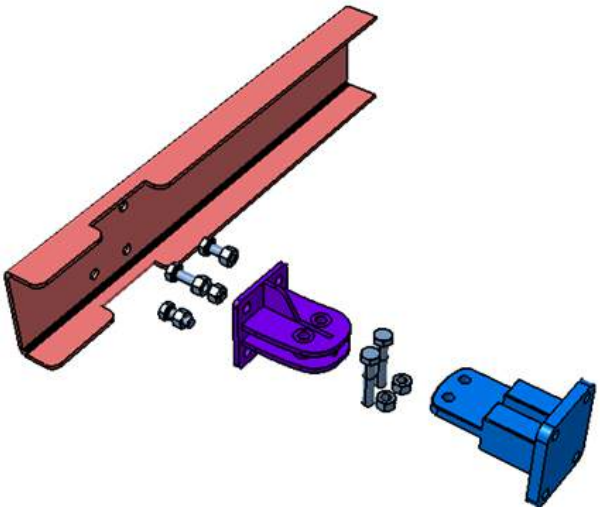


Şekil 3. Motor bağlantı kulağı modelleme aşaması

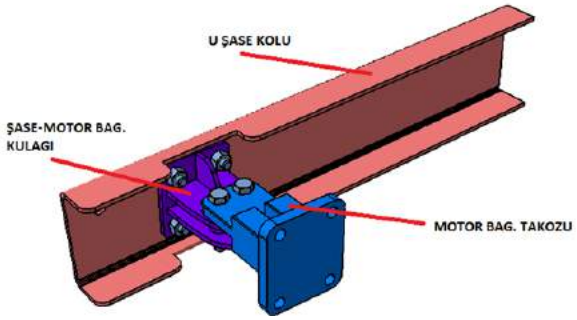
Modellemesi yapılan parçanın bilgisayar ortamında analizi yapılarak gerekli testleri yapılır. CATIA ortamında yaptığımız analiz sonuçları istediğimiz sınırlarda ise parçanın resmi hazırlanarak bir sonraki aşamaya geçilir. Uygun değilse zayıf yerleri tekrar gözden geçirilir, tasarım yeniden düzenlenir.

3.2. Parçanın montajlamasının yapılması

Bütün bu aşamalardan sonra parça montajlanmak üzere ilgili bölüme gönderilir. Burada montajlaşarak işlem tamamlanır. Şekil 4'te tasarımı yapılan motor takozun işlem sırası gösterilmiş ve Şekil 5'te de ise modellenmiş parçanın montajı gösterilmektedir.



Şekil 4. Şase-motor kulağı ve motor takozunun montaj sırası gösterimi

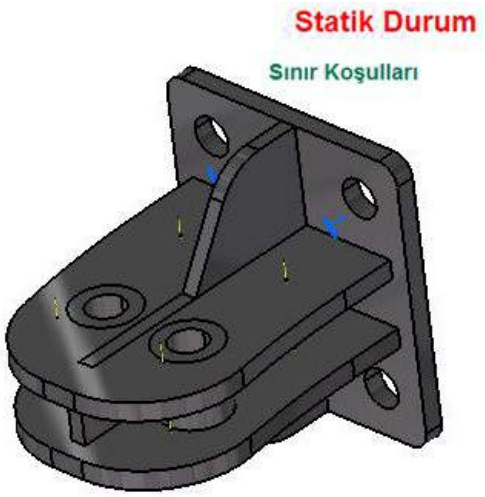


Şekil 5. Şase-motor takozu ve motor takozunun montaj modellemesi

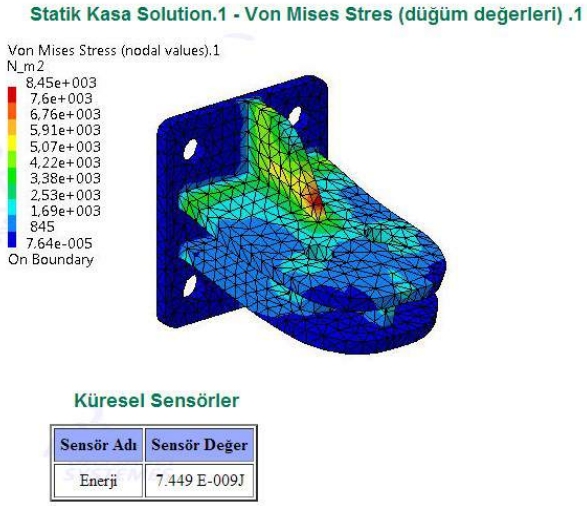
4. Motor Bağlantı Kulağının Analizi

Modellemesi yapılan motor kulağı parçası CATIA'nın analiz modülünde statik analizi yapıldı. Önce parçanın şaseye bağlanan dört deliğinden sabitleme yapıldı. Sabitlenen parça Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 6'da motor bağlantı kulağının statik durumu gösterilmiştir. Sonra motor takozu ile bağlandığı iki deliğin bulunduğu yüzeye 7 N'luk kuvvet uygulanmıştır. Alınan sonuç ve değerler ayrıntılı olarak aşağıda gösterilmiştir.

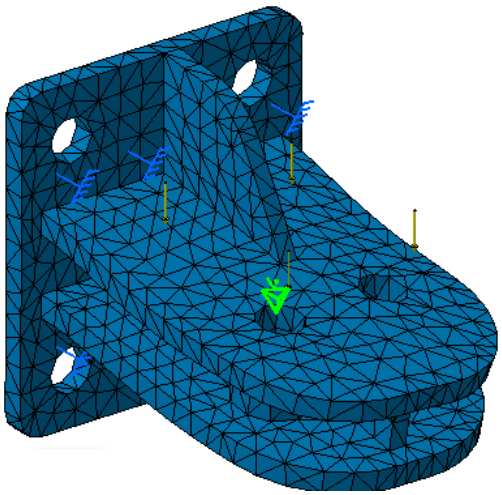
Parça gerilme açısından incelendiğinde en büyük gerilmenin destek parçası üzerinde olduğu görülmektedir. Bu durum parçanın çalışma şartları göz önünde bulundurulduğunda, destek parçanın en fazla zorlanmaya maruz kalmasıyla açıklanabilir. Şekil 7'de destek parçanın zorlanmaya maruz kaldığı görülmektedir. Şekil 8'de motor bağlantı kulağına uygulanan gerilme analizinin Von Mises dağılımı görülmektedir. Gerilmeye bağlı düğüm değerleri Şekil 9'da verilmiştir. Bu nedenle statik optimizasyon ve yorulma analizleri yapılırken destek parçada meydana gelen maksimum gerilme değeri referans alınmıştır. Şekil 11'de motor bağlantı kulağının gerilme analiz sonucunda oluşan tahmini hataları görülmektedir.



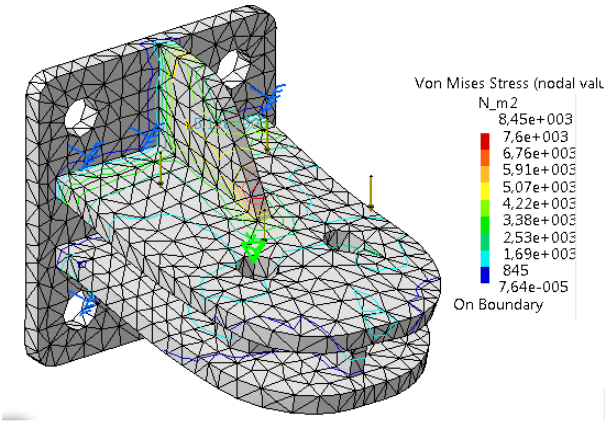
Şekil 6. Motor bağlantı kulağın statik durumu



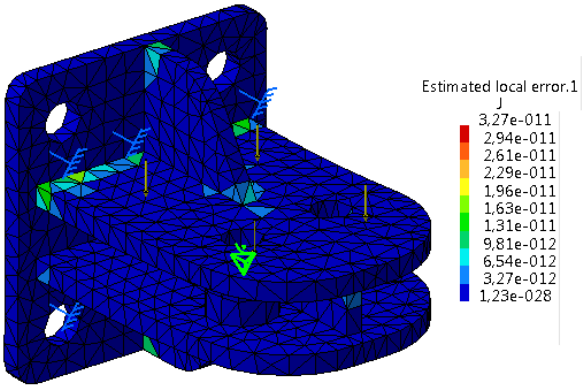
Şekil 8. Motor bağlantı kulağın uygulanan gerilme analizinin Von Mises dağılımı durumu



Şekil 9. Motor bağlantı kulağın uygulanan gerilme analizin durumu



Şekil 10. Motor bağlantı kulak analizi düğüm değerleri



Şekil 11. Motor bağlantı kulağının gerilme analiz sonucunda oluşan tahmini hataları

5. Sonuçlar

Bu çalışmada, modelleme ve analiz için CATIA yazlımı kullanılmıştır. CATIA'da modelleme yapmak birçok programa göre hızlı ve kolaydır. Bunun yanında görsel efektleri de üst seviyededir. Herhangi bir üründeki maliyetinin azaltılması ve pazara sunum sürelerinin kısaltılması için ürün geliştirme aşamasında optimum tasarım modelinin belirlenmesine yönelik boyutlandırma optimizasyon yaklaşımı kullanımı anlatılmıştır. Malzeme dağılımını temel alan bu yaklaşım ile otomotiv sektöründe motor bağlantı elemanının optimum modeli elde edilmiştir.

Bu yapılan analizlerle olması hata ve risklerin minimize edilmesi açısından kaçınılmazdır. Makine elemanlarının fiziksel prototip testi yapılamayan veya çok yüksek maliyetlere yapılabilecek ürünler için bu hesaplamalar çok daha fazla önem arz etmektedir. Herhangi bir üründe iyileştirme yapmak veya yeni bir ürün geliştirmek söz konusu olduğunda ekonomiklik, işlevsellik, çevreye duyarlılık, güvenlik, performans, estetik, ergonomi başlıca gerekliliklerdir. Mühendislik analizleri kullanarak bu ürünleri daha kolay imal edilen, daha uzun ömürlü, daha az arıza yapan, arızaları daha kısa sürede giderilen, daha düşük maliyetli, daha ergonomik ve kolay kullanılan, daha çevreci ve yalın hale getirmek mümkündür. Bu sayede müşteri taleplerini hızlı cevaplayabilme, tasarım aşamasında hata tespiti ile risk azaltma, üretimde maliyet azaltıcı geliştirmeler, rekabette üstünlüğü sağlayan yenilikler, gelişkin mühendislik bilgi birikimi gibi kazanımlar elde etmenin yolları açılmış olur.

Kaynaklar

[1] megep.meb.gov.tr/mteprogram/SabitMotor Parçaları.pdf (04 Mayıs 2013)
[2] Steen, K., Niels, O., John, R., Concept of an Optimisation System, Computer Aided Optimum Design of Structures, Springer, pp.79-88, 1989.
[3] Torsten, B., Application of Structural Optimisation Software in the Design Process, Computer Aided Optimum Design of Structures, Springer, p. 13-22, 1989.
[4] Jean, T., CAD meets CAE, Mechanical Engineering, 121 (10), pp. 66-70, 1999.
[5] Esping, B., Design Optimisation as an Engineering Tool, Structural Optimisation, 10, pp. 137-152, 1995.
[6] Özden, H., İnnovative Endüstriyel Tasarımlarında Bilgisayar Destekli Optimizasyon Yöntemleri, http://www.dr-huso.com/makale/makale194.pdf (Nisan 2014)
[7] MEGEP, Motorlu Araçlar Teknolojisi, Sabit Motor Parçaları, Ankara, 2011.

SÜSPANSİYON SİSTEMİ İÇİN POLİMER KOMPOZİT YAPRAK YAY TASARIMI VE İMALATI

POLYMER COMPOSITE LEAF SPRING DESIGNING AND MANUFACTURING FOR SUSPENSION SYSTEM

Oğuzhan BİLDİK [a], Birhan IŞIK [b]
[a] Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, TÜRKİYE,
E-posta: oguzhanbildik@gmail.com
[b] Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği, Karabük, TÜRKİYE,
E-posta: birhanisik@karabuk.edu.tr

Özet

Günümüzde önemi gittikçe artmakta olan kompozit malzemeler günlük hayatta birçok alanda kullanılmakta ve kullanımı gittikçe artmaktadır, yapılan bu çalışmada polimer kompozit malzeme süspansiyon sisteminde yaprak yay malzemesi olarak tasarlanmıştır. Bu çalışmada camelyaf keçe, cam elyaf dokuma, cam elyaf fitil malzemeler farklı reçine oranlarında bir araya getirilerek el yatırması yöntemi ile polimer kompozit yaprak yay üretilmiştir. Tasarlanan ve üretilen polimer kompozit yaprak yayın amacı süspansiyon sistemi içerisinde daha hafif ve daha az korozif özelliğe sahip bir malzeme oluşturmaktır.

Anahtar kelimeler: camelyaf, polimer kompozit yaprak yay, mekanik deneyler

Abstract

Composite materials are becoming increasingly indispansable to Daily life. In this study, a polymer composite material is designed for use as a leaf spring material in a suspension system. In this study, polymer composite leaf springs were produced by bringing fiber felt, glass fibre textile, glass fibre wick materials with different resin rates using hand lay-up method. The polymer composite is designed and produced in the leaf spring suspension system objective lighter and less corrosive to create a material having feature.

Keywords: glassfibre, polymer composite leaf spring, suspension, mechanical tests

1. Giriş

Teknoloji de meydana gelen gelişmeler mühendislik malzeme sektöründe malzeme seçiminde de kendini göstermiş, araştırmacılar özellikle otomotiv sektörünün gelişiminde dış ve iç donanımın yanı sıra, mekanik gelişim ve yeni malzemeler için arayış içerisine girmişlerdir. Özellikle malzeme teknolojilerindeki gelişime paralel olarak daha hafif, daha az korozif özelliklere sahip ve bunların yanında da istenilen mekanik özellikleri barındıran malzemeler önem kazanmıştır. Oluşan bu gelişmeler karşısında otomotiv süspansiyon sistemleri de farklı malzeme tipleri ile üretilmeye çalışılmaktadır. Aranan bu özellikler kompozit malzemelerin geliştirilmesi ve bu malzemelerin özelliklerinin geliştirilmesi ile aşılmaya çalışılmaktadır.

Otomotiv sektöründe araçların özellikle fazla ağırlığa sahip olmasının hem yakıt açısından, hem de aracın ivmelenmesi açısından bir problem oluşturduğu araştırmacılar tarafından değerlendirilmekte ve alternatif olarak çeşitli malzemeler araştırılmaktadır. Aynı zamanda otomotiv sektöründe ilk yıllardan itibaren ağırlıklı olarak kullanılan çelik malzemelerin ağırlığının yanı sıra korozyon özelliğinin yüksek oluşu, bazı alaşımlı çelik malzemelerin tamirinin zor oluşu, elektrik ve ısıl iletkenlikteki problemler ve tasarımda görsellik oluşturmadaki, imalatındaki zorluklar malzeme yönünden farklı malzemelerin denenmesini gerekli kılmıştır.

Mahmood vd. [1], kompozit yaprak yayların analizi ve optimizasyonu konusunda çalışma yapmışlar ve bu çalışmalarında sonlu elemanlar yönteminden faydalanmışlardır. Çalışmalarında çelik yaprak yaya nazaran %80 oranında ağırlık kazanımı sağlamışlardır. Vijayarangan vd. [2] otomotiv sektöründeki birçok parçanın cam elyaf kompozit malzemeden yapımını incelemiş, bu parçaların ve tasarımlarının iyileştirilmesi çalışmalarında bulunmuşlar.

Polimer kompozit malzemeler; sağladığı korozyon dayanımı, hafiflik, elektrik iletkenliği, tasarım esnekliği, onarım imkânı, üretim maliyetinin gün geçtikçe azalması ve mekanik özelliklerindeki iyileştirilmeler neticesinde otomotiv ve diğer sektörlerde metal malzemelere alternatif oluşturmaktadır [3].

2. Yaprak Yay Tasarımı

2.1 Malzeme

Yapılan el yatırması yönteminde reçine olarak, Cam Elyaf A.Ş.' den temin edilen CE 266 N12 tipi el yatırması, püskürtme, elyaf sarma metotlarına uygun makine parçaları ve özel ürünlerin yapımına uygun polyester reçine tercih edilmiştir.

El yatırması yönteminde kullanmak üzere KCR2 (M) çok uçlu fitil, MAT8 cam elyaf keçe ve CDK (cam elyaf dokuma) kullanılmıştır. Kullanılan tüm elyaf türleri CAMELYAF A.Ş.' den temin edilmiştir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

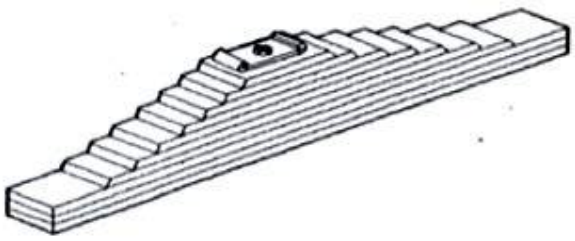
Kobalt olarak % 6' lık kobalt naftanat kullanılmıştır. Bu hızlandırıcı türü polyester sertleşmesinde MEK-P tipi sertleştiriciler ile birlikte çalışmaktadır. Bu nedenle sertleştirici seçimi de buna uygun olarak yapılmaktadır. Polyester firmasının tavsiyesi üzerine 100 gr reçineye 25 °C' de % 0,25 oranında % 6' lık kobalt naftanat kullanılmıştır.

Sertleştirici olarak kobalt naftanat ve kulanılan CE 216 N12 polyester reçineye uyumlu Metil Etil Keton Peroksit (MEK-P) kullanılmıştır. Kullanılan sertleştirici metil etil keton peroksit 50 mm çapında bir beherglasa konan 100 gr polyester reçineye % 2 oranında uygulanmıştır.

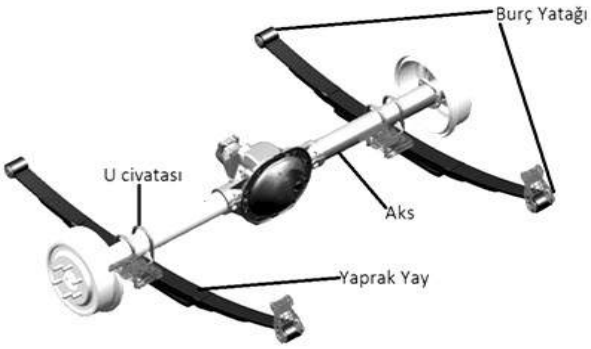
Üretilen polimer kompozit yaprak yayı kalıptan ayırabilmek için işlem uygulanmadan önce krem şeklinde vaks kullanılmıştır. Vaks bir bez aracılığı ile kalıbın tüm yüzeyine özellikle köşe noktalara uygulanmıştır.

2.2 Kalıp tasarımı ve kalıplama

Kalıp tasarımı yapılmadan önce araçlar üzerinde süspansiyon sistemleri incelenmiş Şekil 1' de gösterilen düz yaprak yay modeli esas alınarak ve Çizelge 1 'de verilen standart ölçü aralıklarına uyularak tasarım yapılmıştır.



Şekil 1. Yaprak yay



Şekil 2. Yaprak yay ve montaj elemanları [4]

Yaprak yayların ölçülendirilmesinde çeşitli mukavemet hesaplama yöntemleri kullanılarak belirli genişlik değerleri ve bu değerlere ait kullanılabilecek kalınlık değerleri tespit edilmiştir.
Yaprak yaylara ait eğilme momenti ve gerilme değerleri sırasıyla [5].

$$M_{b1}=\frac{F}{2}\ L_1 \ldots\ldots M_{bn}=\frac{F}{2}(L_1+\ldots\ldots+L_n) \qquad (1)$$

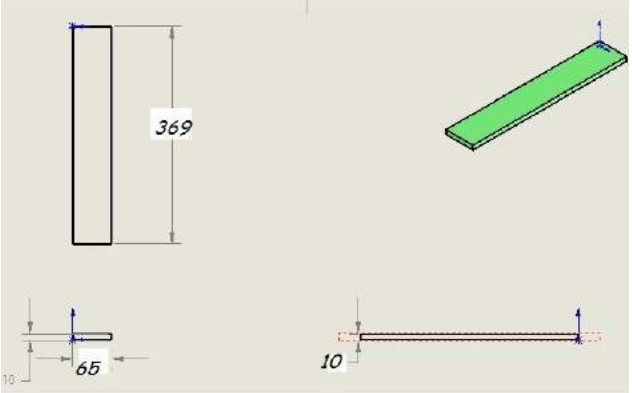
$$\sigma_{b1}=\frac{3FL_1}{wt^2}\ ,\ \ldots\ldots,\ \sigma_{bn}=\frac{3F(L_1+\ldots.+L_n)}{nwt^2} \qquad (2)$$

Denklem (1) ve (2) 'deki *F* yaprak yaya gelen yük, *L* mesnetler arası mesafe, *t* yaprak yay kalınlığı, *w* yaprakların genişliğini göstermektedir.

Yaprakların genişliği minimum 50 mm' den maksimum 140 mm' ye kadardır. Yaprakların kalınlığı 6 mm ve 22 mm arasındaki bir tam sayı ile gösterilmektedir. Yaprakların kalınlığı için, genişliğin 1/5'ini aşmaması önerilmektedir. Önerilen yaprak yay boyutları Çizelge 1'de verilmiştir [5]. Örneğin 60 mm genişliğindeki bir yaprak yay için 6 mm 'den 12 mm 'ye kadar kalınlık seçilebilmektedir.

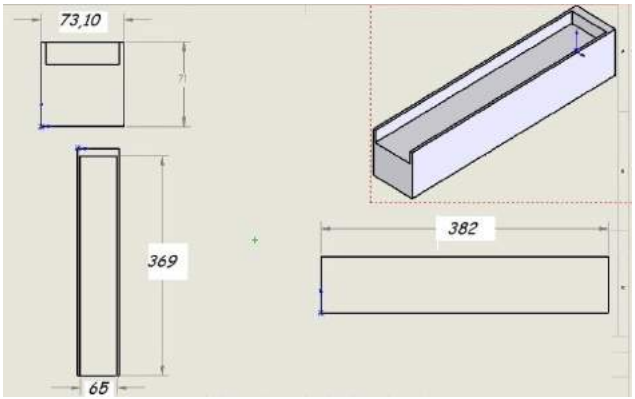
Çizelge 1 Önerilen yaprak boyutları [5]

Genişlik [mm]	Kalınlık [mm]				
40	6	8	10		
50	6	8	10		
60	6	8	10	12	
70		8	10	12	14
80		8	10	12	14	16
100		8	10	12	14	16
120		8	10	12	14	16
140		8	10	12	14	16



Şekil 3. Tasarlanan yaprak yay ölçüleri

El yatırması yöntemi ile üretilen polimer kompozit yaprak yay için Şekil 4' te gösterilen kalıp kullanılmıştır.

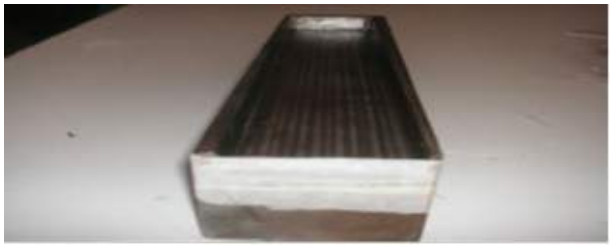


Şekil 4. Polimer kompozit yaprak yay kalıbı üç görünüş

El yatırması yöntemi ile kalıpta polimer kompozit yaprak yay üretilirken aşağıdaki basamaklar uygulanmıştır;

- Öncelikle kalıp yüzeyi ve kalıp asetonla temizlenmiştir. Asetonun tamamen kuruması için 1-2 dakika beklenmiştir.
- Kalıp içi boşluğu, özelliklede kalıbın köşe yüzeyleri bir bez aracılığı ile şekil 5' de görüldüğü üzere polimer kompozit Yay'ın rahat kalıptan ayrıla bilmesi için her kısmına yedirilerek kalıp ayırıcı vaks sürülerek uygulama yapılmıştır.
- Kalıp yaklaşık 10 dakika süre ile kuruması için beklenmiştir.
- Kalıp ön kısmı şeklin düzgün olması için Şekil 6 da görüldüğü gibi özel bir bantla yapıştırılmıştır.

Şekil 5. Kalıp ayırıcı vaksın kalıba uygulanması



Şekil 6. Kalıp hazırlama

Daha önce keserek hazırlamış olduğumuz cam elyaf lifleri, keçeleri ve hasırları değişik kombinasyonlar halinde kalıp boşluğuna yerleştirildi.

Şekil 7. Cam elyaf keçenin kalıba uygulanması

Polyester reçineye belirtilen oranlarda sertleştirici ve hızlandırıcı dâhil edilerek, el yatırması yöntemi ile Şekil 8' da görülen polyester reçine karışımı uygulanmıştır.

Şekil 8. Cam dokuma uygulaması

Kalıp içerisinde oluşan hava tabakasını engellemek için uygulama sırasında Şekil 9' da gösterilen özel kanallı rulo ile hava tabakasının uzaklaştırılması işlemi yapılır. Bu işlem yapılmadığı takdirde tabaklar arası hava tabakası oluşumu gerçekleşir buda malzemenin mekanik özelliklerini (çekme, basma v.b.) olumsuz yönde etkilemektedir.

Şekil 9. El yatırması yöntemi hava alma işlemi

Kalıplama işlemi tamamlandıktan sonra kalıp içerisinde malzemenin tamamen kuruması beklenmiştir. Yapılan işlemler cam elyaf keçe, çok uçlu fitil ve cam elyaf dokuma malzemeler kullanılarak farklı polimer kompozit yaprak yay malzemeleri yapılmıştır.

Şekil 10' da kuruma işlemi tamamlanıp kalıptan yeni çıkarılmış polimer kompozit yaprak yay görülmektedir.

Şekil 10. Polimer kompozit yayın kalıbından çıkarılması

Elde edilen yaprak yaylara ait kombinasyonlardan bazıları Çizelge 2' de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Yaprak yay kombinasyon ve kodları

Malzeme Adı ve Kodu	Cam Fiber Hacmi	Cam-Fiber Kombinasyonu
Numune 1 (N1)	%36	Cam elyaf Keçe (4 kat) Çok Uçlu Fitil
Numune 2 (N2)	%38	Çok Uçlu Fitil
Numune 3 (N3)	%41	Cam Dokuma (4 kat) Cam Elyaf Keçe (8 kat)
Numune 4 (N4)	%42	Cam Elyaf Keçe (8 kat) Çok Uçlu Fitil
Numune 5 (N5)	%40	Cam Elyaf Keçe (8 kat)

2.3 Elde edilen yaprak yayın testi

Numunenin iki ucu, standart deney sisteminde çeneler arasına sıkıştırılır, çeneler birbirinden seçilen belirli sabit bir hızla uzaklaştırılırken örnek iki ucundan bu belirli hızla gerdirilir. Gerdirme hızları denenen malzemenin türüne göre seçilir. Deneyimizde öncelikle numunemizi ASTM D 638-4 (Şekil 11) türüne göre numune hazırlanmıştır [40].

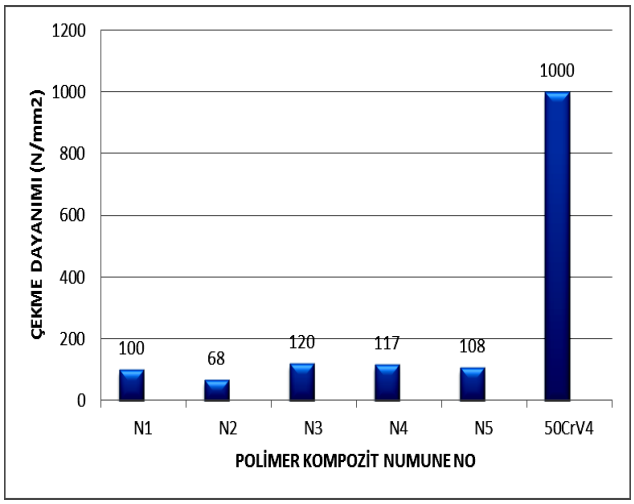
Şekil 11. Yay numunesi çekme deneyi

3. Deneysel Sonuçlar

Şekil 12' te Çekme deneyi sonuç grafiği görülmektedir grafikte elde edilen değerlere göre 4 kat cam dokuma elyaf-8 kat cam elyaf keçeden oluşan (N3) numunenin çekme dayanımının diğer numunelere oranla daha yüksek olduğu gözlenmiş buna beden olarak ta cam elyaf dokumada bulunan 0-90° açıya sahip yapının malzemenin çekmeye karşı dayanımını artırdığı, N4 ve N5 numunelerinin de çekme dayanımlarının N1 ve N2 numaralı numunelere göre yüksek olduğu buna neden olarak da cam elyaf oranının artması ve bunun sonucunda numunelerin çekme mukavemet değerlerinde artış meydana geldiği görülmektedir. 50CrV4 Yay çeliğinde ise çekme dayanımının polimer kompozit malzemelere oranla 1000N/mm2 değerle oldukça yüksek olduğu görülmüş buna etken olarak da uzun ısıl işlem süreleri gösterilebilir.

5. Tartışma ve Sonuç

El yatırması yöntemi ile üretilen ve ölçüleri Şekil 3' de verilen polimer kompozit yaprak yayın verilen ölçülerde tasarlanarak E-sınıfı cam elyafla üretilmesi sayesinde ağırlık olarak % 79,89 (aynı ölçülerde 50CrV4 yay çeliği ağırlığı: 1840 gr, numune ortalaması: 370 gr) hafifleme sağlanmıştır. Bu da araçların ağırlık olarak hafifleyerek yakıtta tasarruf sağlaması ve korozif özelliklerinde önüne geçilmesi anlamına gelmektedir.



Şekil 12. Çekme deney sonuç grafiği

Farklı E-sınıfı fiberler kullanarak el yatırması yöntemi ile üretilmiş olunan kompozit malzemelerde aynı türde cam elyaf malzeme ve aynı polyester reçine kullanarak üretilen numunelerden N1(4 kat cam elyaf keçe) ve N4 (6 kat cam elyaf keçe) numunelerin her ikisinin de mekanik özelliklerinde farklılık bulunmuştur, Bunun nedeninin fiber oranında ve reçine oranındaki farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu farklılık cam elyaf oranı arttığında zaman malzemenin mekanik değerlerinde de artış olduğunu göstermektedir.

Çekme darbe deneylerinde 50CrV4 yay çeliğinin polimer kompozit yaprak yaya oranla oldukça yüksek çekme dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Bu farklılıklarından dolayı çelik yaprak yay kullanımının özellikle ağır yük sınıfı araçlarda polimer kompozit yaprak yaya oranla daha uygun olduğu el yatırması yöntemi ile üretilen polimer kompozit yaprak yayların daha hafif yük sınıfı araçlarda, özellikle hafiflik ve korozyon dayanımı gibi avantajlarından dolayı kullanımı mümkün görülmüştür.

Kaynaklar

[1] Mahmood M. S. and Davood R., "Analysis and optimization of a composite leaf spring'', Composite Structures, vol.60, no.3, pp. 317–325, 2003.
[2] Rajendran I. and Vijayarangan S., "Optimal design of a composite leaf spring using genetic algorithms'', Computers and Structures , vol.79, no.11, pp. 1121-112, 2001.
[3] Jones R., "Mechanics of composite materials", Taylor&Francis, USA, pp. [2-3], [36], 1999.
[4] Philipson N., "Leaf spring modeling", Modelica, Sweden, pp. 5, 2006.
[5] Çetinkaya S., "Taşıt Mekaniği", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, pp. 197-203, 1999.

KENDİNDEN DENGELİ BİNEK TASARIM VE İMALATI

RIDING SELF-BALANCED DESIGN AND MANUFACTURING

Cevdet GÖLOĞLU [a], Bünyamin SAĞIR [b],
Fatih UZUN [c], Kamil CAN [d], Musa KANKAL [e], Mehmet Salih BATMAZ [f]
[a] Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 78050 Karabük, Türkiye, cgologlu@karabuk.edu.tr
[b, c, d, e, f] sagirbunyamin@gmail.com, uzunfatih@outlook.com.tr, cankamil@outlook.com, musakankal@gmail.com, mehmetsalihbatmaz@hotmail.com

Özet

Günümüzde insanların çoğu genellikle fosil yakıtlı araçlar ile yapılan kısa yolculuklara alternatif olacak çevre dostu, kullanılması kolay ve hafif bineklere gereksinim duymaktadır. Bu çalışmada, üniversite yerleşkesi, alışveriş merkezi gibi geniş alana yayılmış, acil ulaşım ve müdahale gerektiren yerlerde, çalışanlara ve güvenlik görevlilerine hız kazandırmak için kendinden dengeli iki tekerli bir taşıtın ülkemizde yapımı hedeflenmektedir. Freni ve gazı olmayan bu araç, içindeki donanım ve ilgili yazılım sayesinde kullanıcısının dengesindeki en ufak değişikliklere göre hareket edebilmektedir. En önemli özelliği jiroskop algılayıcısı yardımıyla kullanıcısının hareketlerine göre hızını belirleyerek dengede durabilmesidir. Ayrıca bu bineğin şarj edilebilir ve uzun ömürlü olması ekonomik açıdan yarar sağlamaktadır. Ülke dışında yapılan benzerleri gibi 20° eğimli, düz, ayrılmış yollarda kullanılabilmektedir. Ürünün geliştirilmesi ile farklı alanlarda da (robot, haberleşme ve askeri teknolojiler) kullanılma imkânı mevcuttur.

Anahtar kelimeler: Kendinden denge, iki tekerlekli binek

Abstract

Nowadays most people usually prefer environment friendly, easy usage and light vehicles as alternatives to fossil-fuelled vehicles. In this study, a self-balanced two wheeled vehicle is planned to be produced for which the workers and security staffs can be speeded up at the scattered places such as university campus, shopping centre, and the places where urgent access and action are required. The vehicle contains no brake and accelerating pedal, and it can move based on the slightest changes in the balance of the driver by the help of software and hardware used on. The most important property of the vehicle is the balance that the speed is determined based driver's movement by the help of a gyro sensor. In addition, as the vehicle is rechargeable with long life provides economic benefit. It can be used at 20° slopped, flat and separated roads like the similar ones in abroad. It may be applicable to different fields (robots, communication and military technologies) by the enhancements.

Keywords: Self balance, two wheeled vehicle.

1.Giriş

İnsanları çift tekerlek üzerinde bir yerden başka bir yere götürmek üzere tasarlanmış ilk araç bisiklettir. Yakın zamanda ise tekerlekleri eş merkez üzerine yerleştirerek denge probleminin çözülmesi ile geliştirilen binekler kullanıma sunulmuştur. Bu binekler insanlar tarafından, havaalanı, şehir içi trafiğe kapalı caddeler, alışveriş merkezleri gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanmaya başlanmıştır. Bu tarz binekler, kişilerin kullanımında çeşitli zorlukları da içermektedir. Kendinden dengeli bineklerde mutlaka bir kişinin binek üzerinde bulunarak gitmek istediği yönler hakkında karar vermesi gerekmektedir. Bineğin ileri geri yaptığı hareketler, vücudun öne ve arkaya doğru yaptığı eğilmeler ile gerçekleşmektedir. Sağa ve sola yön kontrolü ise ayarlı kol ile sağlanmaktadır Bu tür araçlar ülkemizde ithal yoluyla satın alınarak binek, askeri donanım ve çeşitli alanlarda son zamanlarda kullanılır hale gelmiştir.

Sun vd. [1] IMU (Inertial Measurement Unit) kullanarak iki tekerlekli robotun açı davranışlarını belirlemiştir. Kalman filtresi ile açısal davranış verileri en uygun şekilde elde edilerek denge kontrolü amacıyla kullanılmıştır. Bu deney, robot sistemi tasarımının uygulanabilir olduğunu ve Kalman filtre algoritmasının kontrol hassasiyetini arttırdığını göstermiştir. İki tekerlekli kendini dengeleyen robot, tekerlekli robotun özel bir türüdür. Bu robotun hareketi esnektir. İki tekerlekli robot düz bir zeminde çalıştırılabilir. Bu robot sınırlı, küçük ve tehlikeli alanlarda çalışmaya uygundur. Temelde kendinden dengesi olmayan iki tekerlekli bu robot, karmaşık araştırmaları, test kurulumlarını ve kontrol teknolojisi araştırmalarının denendiği bir platform haline gelmiştir. Gao vd. [2] Newton mekaniğini kullanılarak iki tekerlekli kendinden dengeli araçların ayrıntılı modelleme süreçlerini ve bu araçların uygun bir şekilde kontrolünü amaçlamaktadır. Tam kapsam geri besleme (Full state feedback) ve kayma modu denetleyicisi tasarlanarak, ideal bir simülasyon eğrisi elde edilmiştir. Şu anda, bu sisteme ilişkin teknolojiler kentsel müdahale ve terörle mücadele alanlarında başarıyla kullanılmaktadır. Kendini dengeleyen araç kontrol teorisi araştırma süreci içerisinde denge sağlamlık ve kontrol gibi birçok ana sorunla karşılaşmaktadır. Bu model kontrol teorilerinin tamamını incelemek için idealdir. Kendinden dengeli iki tekerlekli araca tekerlekli ters sarkaç denilebilir çünkü onun denge kontrol işlemi doğrusal sarkaç hareketine benzemektedir. Lin vd. [3] iki tekerlek arasında değişken yük ve sistem belirsizlikleri ile kendini dengelemek için sapma hareketi yapan insan taşıma aracı hakkında çalışma yapmıştır. Farklı sürücülerin neden

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

olduğu parametre değişimleri ve sistem belirsizliklere önerilen düzenleyiciler HTV (Human Transportation Vehicle) için tutarlı bir sürüş başarımı sunmayı amaçlamaktadır. Tekerlekli ters sarkaç hareketi ve sapma hareketi içerisindeki alt sistemler, sapma kontrolü ve kendini dengelemesi için önerilen iki kuvvetli denetleyicilerdir. Ye vd. [4] iki tekerlekli kendinden dengeli robot belirsiz parametre ve doğrusal olmayan bir kararsız robotun dinamik sistemi üzerinde çalışmıştır. Bu çalışma İki tekerlekli kendini denetleyen robot denetleyicileri esas olarak elde edilen algoritmaları güvenli bir şekilde denetlemek ve robotun sürekli hareketlerini denetlemek için uygun seçimi hakkındadır. Farooq ve Asad [5] robot türlerini kontrol etmek için geleneksel kontrol türleri kullanılmıştır. Bu teknikler arasında verilerin daha fazla işlemden kaçınarak sensorlar tarafından sağlanan kusurlu verileri çözmesi nedeniyle bulanık mantık gelecek vaat eden bir çözümdür.

Bu makalede kendinden dengeli bir binek tasarım ve imalatı hedeflenmiştir. Bu bineği diğer benzer bineklerden farklı kılan en önemli özellik ülkemizde yapılıyor olması ve böyle bir çalışmanın ülkemizde henüz çok az yapılmış olmasıdır.

2. Sistemin Temel Elemanları

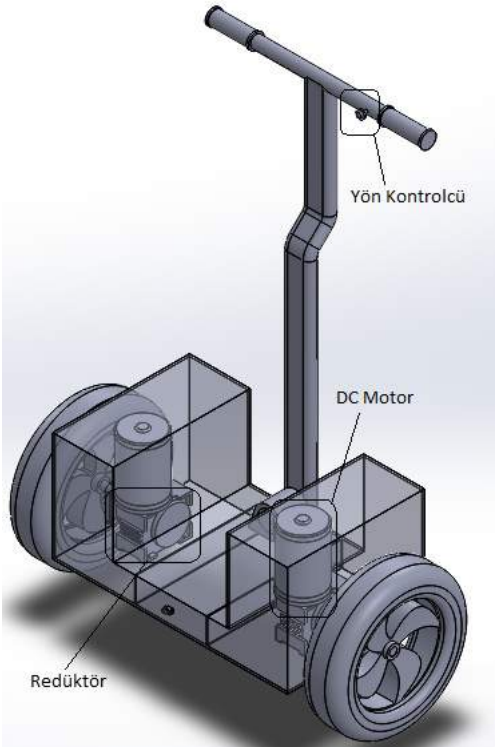
Hedeflenen sistem temel olarak mekanik ve elektronik iki kısımdan oluşmaktadır. Sistem parçaları birleştirilerek montaj yapılmıştır (Şekil 1). Sistemin temel elemanları: DC Motor, redüktör, motor sürücü, atalet ölçüm ünitesi, Arduino kart, batarya, yön kontrolcü, miller, tekerlekler ve yataklama elemanlarıdır Sistemin oluşturulmasında, yerden yüksekliği, ağırlık merkezi, parçaların sabitlenmesi ve elemanların gövde üzerine uyguladıkları yük gibi çeşitli etkiler göz önünde bulundurulmuştur. Gövde kısmında çelik sac kullanılmıştır.

2.1. Mekanik Parçalar

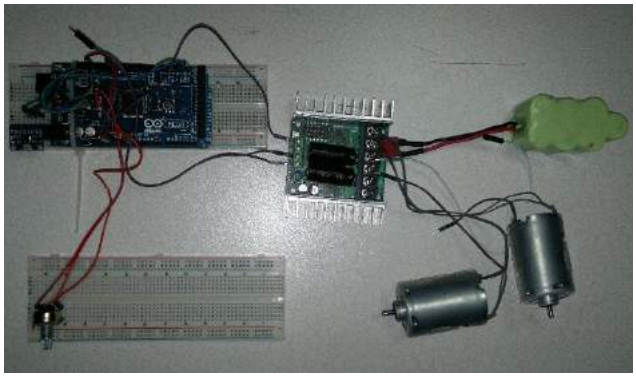
Mekanik parçalar tekerlekler, teker milleri, yataklama elemanları, redüktörler, yön denetim elemanının konumlandırıldığı destek çubuğu ana gövde üzerine montajlanmıştır. DC Motor ve redüktör gruplarını korumak üzere tasarlanan binek gövde metal sacı kesme, bükme ve kaynak yöntemleri ile imal edilmiştir. Sistemde kullanılan redüktörler, motorlardan elde edilen torkun artırılması için kullanılmıştır. Miller yataklama elemanları ile yataklanmıştır.

2.2. Elektronik Parçalar

Binek üzerinde barındırılan elektronik sistemler sayesinde, binek hareket edebilme, yön kontrolü ve denge sağlama özelliklerini yerine getirmektedir. Bu parçalar DC Motor, LiPO batarya, Arduino kart, Atalet Ölçüm Ünitesi (IMU Inertial Measurement Unit), motor sürücü ve potansiyometreden oluşmaktadır (Şekil 2). Yapılan sistemde kullanılan IMU'da, Arduino kütüphanesindeki Kalman filtresi kullanılarak verilerin hassasiyeti artırılmıştır. Bir sistemin hız denetimini ve dengesini sağlamakta kullanılan jiroskop ve ivmeölçerden alınan değerler birbirlerinden ayrı olarak kullanıldığında yeterli olamamaktadır. Bu yüzden bu iki algılayıcının birlikte kullanılması ile binek üzerindeki sürücünün sistemi yönlendirmesi, hız, duruş gibi veriler tek bir üniteden sisteme aktarılmaktadır.



Şekil 1. Sistem Parçaları



Şekil 2. Sistem Elektronik Parçaları

Sistemde MPU-6050 [6] üç eksenli bir gyro ve üç eksenli bir açısal ivmeölçer bulunduran altı eksenli bir IMU algılama kartı kullanılmıştır. Kart üzerinde voltaj regulatörü bulunduğundan 3-5V arası bir besleme voltajı ile çalıştırılabilmktedir. İvmeölçer ve gyro çıkışlarının her ikisi de ayrı kanallardan I²C çıkışı vermektedir. Her eksende 16 bitlik bir çözünürlükle çıkış alınabilmektedir.

Sistemde kullanılan yazılım Arduino'dur. Bu yazılım temel olarak açık kaynak kodlarına dayalı fiziksel bir programlama platformudur. Bu amaçla, Arduino Mega 2560 R3 kart sistemde kullanılmaktadır [7]. Kart sayesinde IMU'dan alınan veriler, işlenerek motor sürücüye iletilmektedir

Sistemde kullanılan motor sürücüsü 25A akım değerini motorlara iletebilmektedir. Sistemin ani akım çekmesine karşın motor sürücü maksimum 50A'lik akım değerini motorlara iletebilmektedir. Sürücünün nominal çalışma voltaj aralığı 6-30V'dur. Sistemin ihtiyaç duyduğu voltaj değeri artması durumunda maksimum 33,6V değerini desteklemektedir. Kullanılan sürücü Sabertooth 2×25 V2 modelidir [8]. Bu sürücü ile 2 adet fırçalı DC motor yön kontrolü yapılmaktadır.

Yön denetim elemanı olarak kullanılan potansiyometre, dışarıdan fiziksel müdahalelerle değişebilen direnç türüdür. Bu direnç sayesinde yön kontrolü yapılmaktadır. Destek çubuğunda bulunan potansiyometrenin el hareketi ile döndürülmesi, motorların hareketlerini değiştirmekte ve binek sağa veya sola hareket etmektedir.

Sistemde kullanılan 2 adet DC Motorun her biri 400W güç değerine sahiptir. 24V, 20A değerlerinde çalışmakta olan motor 2400 dev/dk. hıza sahiptir. Motorlar flanş bağlantılarıyla redüktörlere bağlanabilmekte, redüktör oranı 10,5 olduğundan dolayı sistemdeki tekerlere iletilen devir 228,6 dev/dk. olarak alınmaktadır.

Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalarda kullanım zamanı, şarj etme zamanı ve çevrim sayılarının fazlalığı gibi ölçütler önem taşımaktadır. Kendinden dengeli sistemlerde ani akım hareketleri olacağından dolayı bataryanın buna cevap vermesi gerekmektedir. LiPO batarya sistemin ani akım ihtiyacını karşılamaktadır. Yapılan sistemde kullanılan 2 adet paralel bağlantılı LiPO batarya 6 hücre pilin birleştirilmesi ile 22.2V ve toplamda 12A akım üretmektedir. 1000 defa tekrar şarj edilebilme özelliğine sahiptir. Bu kadar çok şarj-deşarj edildikten sonra dahi batarya kapasitesi %95 civarında devam etmektedir. Bu batarya çeşidinin kullanılmasında ki en önemli etken tam şarj olduğu zaman diğer bataryalara göre daha uzun süre dayanmaktadır [9]. Tekrar şarj edilebilme sayısının fazla olmasından dolayı bu sistemde tercih edilmiştir. Çevre dostu, uzun ömürlü, kullanışlı ve kendinden dengeli bir binek aracında kullanılacak ürünlerin tamamının ülkemizde elde edilmesi pek mümkün değildir.

3. Sistemin Üretim Aşamaları

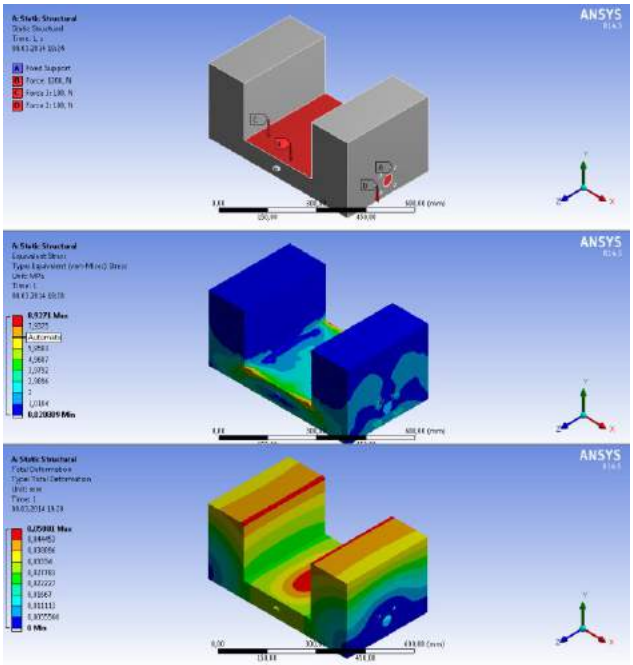
Sistem için gerekli özellikleri sağlamak amacıyla uygun tasarım, donanım, montaj ve maliyet göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan tasarıma uygun ve yeterlilikteki parçalar belirlendikten sonra bu parçalar temin edilerek montaj işlemi gerçekleşmiştir. Az hacimli, ergonomik ve görselliği bulunan bir tasarım amaçlanmıştır. Binek gövdesinin alt kısmı zeminden 120 mm yüksekte, iki teker arası mesafe 700 mm dir. Tasarımın yapılabilirlik anlamında da üretime uygun olması da amaçlanmış, kullanılan malzemeler dayanıklı ve uzun ömürlü olacak şekilde uygun malzemelerden seçilmiştir.

Motorlar ürettikleri tork ve hızı değerleri motora bağlı redüktör çıkışında değişmektedir. Üretilen dönme torku miller vasıtasıyla tekerlere aktarılmaktadır. Redüktörden çıkan miller rulman yataklarıyla desteklenmektedir. Bu sayede miller sabit eksende hareket etmektedir.

Binekte bulunan elektronik devreler gövdenin içerisindeki muhafazalı kısımda en uygun şekilde konumlandırılmıştır. Yatay olarak konumlandırılmasında ki önemli faktör IMU olmuştur. Elektronik devre elemanları arasındaki bağlantılar kablolar ile sağlanmıştır.

4. Gövde Analizi

Sistemin toplam ağırlığını rulmanlar yardımıyla tekerlere aktaran gövde kısmı mümkün olduğunca hafif ve sağlam yapılmıştır. Burada seçilecek malzemenin ek yük oluşturmamasına dikkat edilmiştir Yapılan binekte buna uygun 3 mm kalınlığında metal sac kullanılmıştır. Gövde tasarımının yükler altındaki analizi ANSYS Workbench 14.5 programı kullanılarak yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Gövdeye Yük Uygulanması, Gerilme ve Sehim Analizi

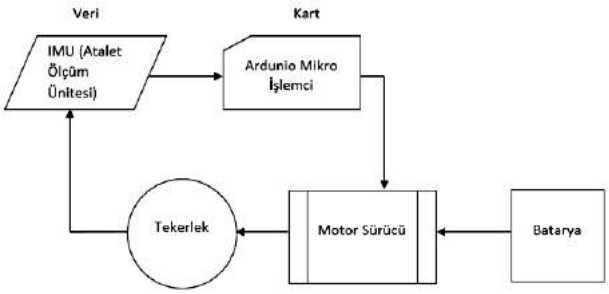
Gerçekleştirilen analizlerdeki en büyük Von Mises gerilmesi 8,9271 MPa olarak bulunmuştur. Bu rakam kullanılan sac malzemenin akma gerilmesinden (235 MPa) küçüktür. Sistem gövdesi üzerindeki en büyük sehim değeri ise 5,0001E−2 mm olarak elde edilmiştir. Bu rakam makul bir değerdir.

5. Bineğin Çalışma Prensibi

Bineğin çalışması için öncelikle güç ünite düğmesine basılarak bataryadan sisteme enerji verilmesi sağlanmaktadır (Şekil 4). Bineği kullanan kişinin dikkatlice üzerine binmesi ile sistem kendini dengelemeye çalışmaktadır. Daha sonra IMU tarafından kullanıcısının ileri, geri veya durgun hareketini algılayarak Arduino karta işlemesi için göndermektedir. Böylelikle yönlendirme, hız ve duruş bilgiler mikroişlemciye aktarılmaktadır.

Bilgileri alan mikroişlemci bu bilgiler doğrultusunda gerekli komutu oluşturarak motor sürücü sayesinde elektrik motoruna durması gerektiğini veya elektrik motorunun hangi devirde hareket edeceğini bildirmektedir. Tahrik motoru, redüktörlerden çıkan miller yardımı ile tekerleklerin hareket etmesini sağlanmaktadır. Böylece binek aracın

ileri, geri yönlenmesi veya durgun halde kalması kullanıcısının hareketine göre sağlanmış olmaktadır.



Şekil 4. Sistem Denetim Akış Şeması

5. Sonuç

Geliştirilen bineğin kullanımı bisiklete göre daha kolaydır. Bu binekteki algılayıcılar yardımıyla kişinin düşme tehlikesi çok azdır. Bu araçta 15-20 km/s hıza ulaşılmıştır. Metal malzemeden yapılmış ayak basma yerleri sayesinde 100-120 kg'a sahip insan veya ağırlığı taşıyabildiği görülmüştür. Yapılan test ve kontrollerle zorlu koşullarda da kullanılması sağlanmıştır. Bunların hepsini yerel imkân ve hammaddelerle yapılması sağlanmıştır. Benzer ürünlere kıyasla daha az maliyetli bir binek tasarlanması sağlanmıştır. Bu ürünün yapılmasında kullanılan teknolojilerin ülkemizde yaygınlaştırılması hedeflenmektedir. Bir diğer hedef ise bu gibi ürünlerin ülkemizde de yapılabildiğini göstermektir.

Sistemin geliştirildiği takdirde kullanılabilecek faaliyet alanları ise şunlardır:

- Eleman ihtiyacı olmadan uzaktan kontrol sayesinde ofislerde, çeşitli kurumlarda belge taşınmasına yardımcı olmaktadır. Binek geliştirilerek insansız yük taşımacılığı gibi birçok alanda kullanılabilir.
- Güvenlik tehdidi olan yerlere yardım malzemesi götürme, insan sağlığına zarar verebilecek maddeleri temassız olarak uzaktan kontrol sayesinde insanların zarar görmeden taşıması için kullanılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209/A kapsamında 2013/2 döneminde desteklenmiştir. İlgili destekten dolayı yazarlar TÜBİTAK BİDEB'e teşekkür ederler.

Kaynaklar

[1] Sun, H., Li, Y., Li, X., Cheng, P., The Two-Wheeled Self-Balancing Mobile Robot Based on MEMS. Advanced Materials Research, vols. 468-471, 2678-2681, 2012.

[2] Gao, D.O., Han, P.W., Zhang, D.S., Lu, Y.J., Study of Sliding Mode Control in Self-balancing Two-Wheeled Inverted Car, Applied Mechanics and Materials, vols. 241-244, 2000-2003, 2013.

[3] Lin, S.C., Tsai, C.C., Huang, H.C., Adaptive Robuts Self-Balancing and Steering of a Two-Wheeled Human Transportation, J. Intell. Robot Syst. 62:103-123, DOI: 10.1007/s10846-010-9460-5.

[4] Ye, D.P., Yu, J.M., Zhou, Y.Z., Control Simulation for Two-wheeled Self-balancing Robot Linear Move Based on Active Disturbance Rejection Controller, Advanced Materials Research, vol. 644, pp. 129-133, 2013.

[5] Farooq, U., Asad, M.U., Hanif, A., Hasan, K.M, Amar, M., Design and Implementation of a Fuzzy Logic Controller for Two Wheeled Self Balancing Robot, Advanced Materials Research, vol. 403-408, pp. 4918-4925, 2011.

[6] MPU 6050, http://invensense.com/mems/gyro/documents/PS-MPU-6000A-00v3.4.pdf (Erişim: Mart 2014).

[7] Arduino Mega 2560, http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560 (Erişim: Mart 2014).

[8] Sabertooth 2×25 V2, http://www.dimensionengineering.com/datasheets/Sabertooth2x25v2.pdf (Erişim: Mart 2014).

[9] Rechargeable Lithium Batteries, http://www.mpoweruk.com/lithiumS.htm (Erişim: Şubat 2014).

BİR ARAZİ (OFF-ROAD) ARACI SÜSPANSİYON SİSTEMİNİN DİNAMİK ANALİZİ VE OPTİMİZASYONU

DYNAMIC ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF AN ALL TERRAIN VEHICLE (OFF-ROAD) SUSPENSION SYSTEM

Mehmet Çalışkan [a] ve Esat Bayram [b]
[a] Sakarya Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Esentepe Kampüsü Serdivan / Sakarya, Türkiye,
E-posta: caliskan@sakarya.edu.tr
[b] OTOKAR Otomotiv ve Savunma Sanayi AŞ, Arifiye / Sakarya, Türkiye,
E-posta: ebayram@t.otokar.com.tr, esat.bayram5410@gmail.com

Özet

Bu çalışmada otomobil sektörünün en karmaşık ürünlerinden biri olan 4 tekerden çekişli (4X4) bir arazi aracına ait yol dışı (off-road) performansının ve sürüş esnasında oluşan dış kuvvetlerin kinematik ve dinamik analizleri yapılmıştır. Aracın zorlandığı düşünülen parkurları temsil eden zemin profilleri oluşturulmuş ve bu parkurlarda yapılan dinamik analizlerle süspansiyon sistemine ve dolayısıyla araç şasisinde ve ona bağlı parçalarda oluşan reaksiyon kuvvetleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, araç ve şasi elemanlarının yapısal optimizasyonunda kullanılmıştır.

Anahtar kelimeler: CAD, CAE, Mekanizma Tasarımı, Gövde Tasarımı, Off-road, Araç Süspansiyon Tasarımı.

Abstract

In this study, an all-terrain (off-road 4x4) vehicle which is one of the most complex products of the automobile industry driving performance was surveyed. Kinematic and dynamic analyses were performed for external forces from the terrain. At the end of the analyses, the reaction forces which were occurred in connections of the components were computed. Using these results, structural optimization was performed with stress minimization criteria, of suspension system components.

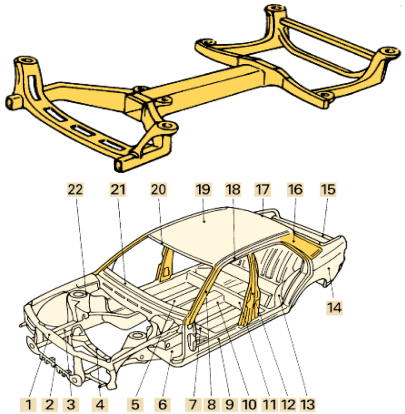
Keywords: CAD, CAE, Mechanism Design, Body Design, Off-road, Vehicle Suspension Systems.

1. Giriş

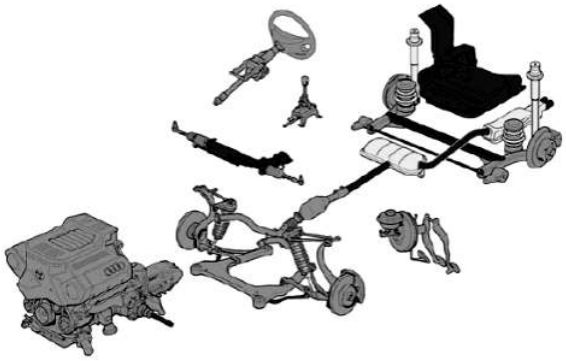
1.1. Gövde Yapıları

Günümüz otomobillerinde çoğunlukla tek bir ünite şeklinde üretilen gövdeler bulunmaktadır. Bu çeşit gövdeler estetik özelliklere sahip olup bu özelliğinin yanında sağlamlık, aerodinamik, dayanıklılık, kolay tamir edilebilme, titreşim özellikleri gibi özellikleri içermektedir [1].

Şasi, taşıtın tüm parçalarını üzerinde taşıyan temel yapıdır. Araç askı donanımı, Direksiyon sistemi, Fren sistemi Ve Tekerlek sistemleri şasinin taşıdığı parçalara örnek verilebilir. Gerçek şasi, aracın tüm gövdesini, motoru, güç aktarma organlarını, tekerlek, direksiyon ve fren sistemlerini üzerinde toplayan putrel, travers ve sıkıştırılmış profillerle donatılmış alt yapıdır. Bunu kısaca insan vücudundaki iskelete benzetebiliriz.



Şekil 1. Bir araca ait şasi ve karoser detayı [1].



Şekil 2. Şasi ve Bağlantı Komplesi Görünümü [2].

1.2. Süspansiyon Sistemi

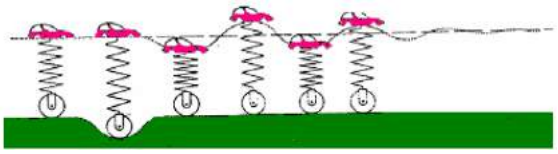
Araç gövdesi ile tekerlekler arasına yerleştirilen süspansiyon sistemi, yolun yapısından kaynaklanan titreşimleri sönümlemek üzere tasarlanmıştır. Süspansiyon sistemi sürüş konforu ve güvenliği açısından ihtiyaç duyulan bir sistemdir [2].

1.3. Yaylar

Bir aracın şasisi araca bindirilmiş yükü, aktarma organlarını ve motoru taşır. Şasi çerçevesi ise yaylar ve

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

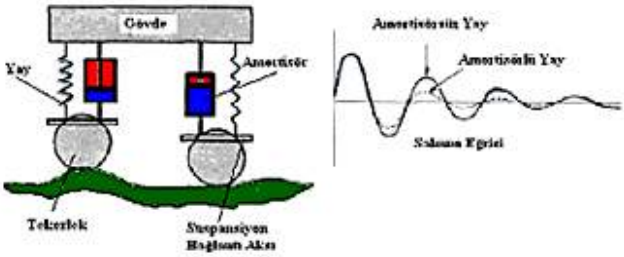
diğer bağlantı elemanları yardımıyla tekerleklere bindirilir. Yaylar tekerlekler ile dingil arasına yerleştirilir.



Şekil 3. Çukura giren bir aracın yaylanması [3].

1.4 Amortisörler

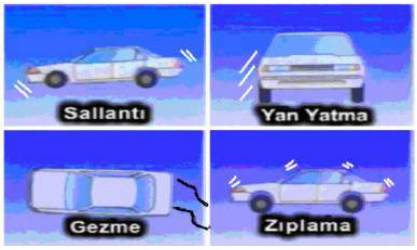
Araç yol yüzeyindeki darbelere maruz kaldığında süspansiyon yayları uzayarak yada kısalarak bu darbeleri karşılar. Darbeleri karşılamaları esnasında bir süre salınım hareketi yapar. Gerçekte bir yayın kısa bir salınımdan sonra durması beklenir. Aynı zamanda yayların hem yeter derecede sert hem de eğilebilir özellikte olmaları gerekmektedir. Bunun yanı sıra yayların sıkışması ve gevşemesi hallerinde araçta aşırı sarsıntılara yol açmaması emniyet ve konfor için zorunludur. Bu nedenle sarsıntı ve darbeyi şasiye iletmeden yayın yavaşça gevşemesi ve sıkışmasını sağlayan, kontrolsüz salınımı kısa sürede durduracak donanıma ihtiyaç vardır. Bu görevi amortisörler gerçekleştirir. Amortisörler aracın dingil yapısına ve kullanılan yaylara göre değişik şekillerde bağlanabilir. Helezon yay ile bir bütün olarak bağlandığı gibi bağımsız olarak da monte edilebilir.



Şekil 4. Amortisörlü ve amortisörsüz kütledeki salınım [3].

1.5. Araçta Meydana Gelen Bazı Salınımlar

Sallantı, Aracın ağırlık merkezine göre ön ve arkasının aşağı yukarı hareket etmesidir. Bu sallantı özellikle, aracın pürüzlü ve kasisli, çok çukurlu stabilize yollarda kullanıldığı durumlarda meydana gelir [3]. Yan Yatma, Bozuk bir yolda araç döndüğünde veya hareket halinde iken aracın bir tarafındaki yay kısalırken diğeri uzamaya başlar. Bunu sonucunda aracın gövdesi bir taraftan diğer tarafa yanal hareket yapar. Zıplama, Aracın tümüyle aşağı yukarı hareketidir. Düzgün olmayan yollarda yüksek hızlarda araç kullanıldığı zaman meydana gelir. Yaylar yumuşak olduğunda da zıplama da artar.



Şekil 5. Araçlarda meydana gelebilecek salınımlar [3].

1.6. Off-road araçların özellikleri

Off-Road kelimesi, İngilizce bir kelime olup sözlük anlamı yol dışı demektir. Kullanım amacı ise yol olmayan ortamlarda, taşıtlar ile gidebilme üzerinedir. Off-Road'un en belirleyici özelliklerinden biri otomobil sporları içinde dünyanın en eskisi olma unvanına sahip olmasıdır. Bunun temel nedeni ilk tekerlekli taşıt icat edildiği zamanlarda o tekerlekli taşıtın gidebileceği yolun henüz icat edilmemiş olmasıdır. Dolayısı ile gidilecek bir yol bulunmadığı için taşıtlar spontane olarak Off-Road yapmaktaydılar [4].Günümüzde dört tekerden tahrikli 4x4 araçlar, diferansiyel yapılarına göre iki temel sınıfa ayrılır. Bu sınıflar:

- Full Time 4x4 (AWD * All Wheel Drive)
- Part Time 4x4 (4WD * 4 Wheel Drive)

4WD araçlar bir anlamda gerçek arazi araçlarıdır. "Part Time 4x4" bir yapıya sahiptirler. Bunun anlamı, aracın gündelik kullanımda 4x2, ancak ihtiyaç durumlarında 4x4 çekiş hatta gereksinimde yüksek oran üretmesidir. Bu sürüş seçenekleri isteğe bağlı olarak sürücünün kumandasındadır [4]. Genellikle standart bir 4WD araçta N, 2H, 4H, 4L olmak üzere dört temel sürüş seçeneği bulunur. Bu sürüş seçenekleri AWD araçlarda bulunmaz [4].

1.7. Amaç

Çalışmanın amacı, bu türden karmaşık yapıların (CAD/CAE) teknolojisi ile makul süreler içerisinde yüksek doğruluk derecelerinde ve prototip imalat aşamasından önce ön tasarımını yaparak şasiyi ve süspansiyon sistemini oluşturan kritik yüklere maruz parçaların optimum şekillerini elde etmektir.

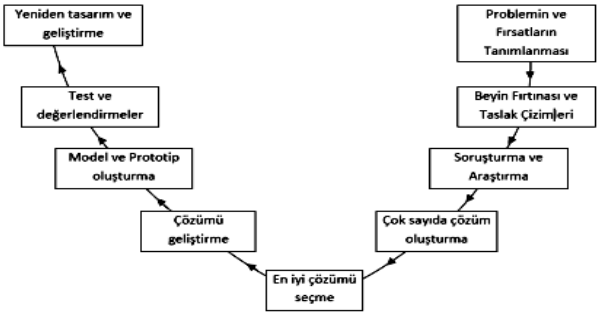
Bu kapsamda aracın arazideki hareketi bilgisayar destekli dinamik analizden elde edilen verilerle sonlu elemanlar yöntemini birleştirerek parça bazına indirgenmiş ve bu sayede mukavemet analizleri yapılmış olup bu sonuçlar ışığında nihai yapısal optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde son yıllarda CAD/CAE teknolojisinin tasarımda ağırlık kazanmaya başladığı görülmektedir [5-12].

2. Materyal ve Yöntem

2.1. CAD-CAE Yöntemi

Bir parçanın üretimine geçilmeden önce tasarım sürecinden geçmesi gerekir. Bu süreçte parçanın modellemesi (CAD) ve analizi (CAE) olmak üzere iki önemli aşama gerçekleştirilir. CAD aşamasında parçanın kullanılacağı yerdeki görevine uygun bir tasarım gerçekleştirilir. Bu tasarımda fonksiyon, estetik gibi hususlar göz önünde bulundurulur. Fakat gerçekleştirilen tasarımın işletme koşulları başladığında buradaki görevi yerine getirip getiremeyeceği belli değildir. Bu konuya cevap verilebilmesi için gerekli mühendislik hesaplarının ve analizlerinin yapılması gerekir. Bir mühendislik tasarımı bir döngü şeklinde ifade edilirse aşağıdaki aşamalardan oluşur. Bu döngü, problemimize uygun olan en iyi çözümü seçtikten sonra bunu geliştirmeye yönelik aşamaları, yani

çözümü geliştirme, deneme modelleri oluşturma, bunları test etme ve yeniden modelleme ve geliştirme aşamalarını içermektedir [13].



Şekil 6. Ürün Tasarım ve Çözüm Süreci [13].

2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) fizik ve mühendislikte karşılaşılan birçok problemin çözümünde kullanılan en yaygın ve etkin sayısal yöntemlerden biridir. Yöntem karmaşık yapıların, üzerinde hesaplama yapılabilecek daha küçük yapılar ile modellenmesi esasına dayanır. Bu fikri günlük hayatta da birçok uygulamada kullanırız. Örneğin bir eğrinin boyunu hesaplamak istesek ya da bir dairenin çevre formülü kullanmadan çevresini hesaplamak istesek eğri üzerinde, boyunu hesaplayabildiğimiz düz doğrular çizip bunları toplayabiliriz. Bu yöntemle belli bir doğrulukla eğrinin boyunu hesaplamış oluruz. Kullanacağımız düz çizgilerin boyu ne kadar küçük olursa o kadar gerçeğe yakın sonuç elde ederiz [13]. Sonlu Elemanlar yönteminin günümüzde ise kullanıldığı alanlar aşağıdaki şekilde gruplandırılabilir.

a) Yapısal Analiz (Statik, dinamik, lineer, non-lineer)
b) Isı transferi
c) Akış analizleri
d) Elektromanyetik analizler
e) Multifizik analizler (karma analizler, sıcaklık-akış, akış-yapısal vb.)

2.3. CAD Modelleme

Creo Parametric, üretici firma PTC nin ifadesiyle, “İleri seviye katı ve yüzey modelleme araçlarını, kullanımı kolay ve “ribbon” olarak bilinen bir menü yapısında sunmaktadır. Örneğin Trace sketch özelliği sayesinde, ürünün resmi üzerine doğrudan çizim yapılabilirken, Freestyle aracı ile bu çizim kolayca 3D’ye dönüştürülebilmektedir. Ayrıca, Dinamik Edit özelliği ile model üzerindeki değişiklikler “Tut-Çek” tekniği ile kolaylıkla yapılabilmektedir. Tasarımı tamamlanan modeller için Otomatik Teknik Resim, BOM tabloları ve notlar oluşturulabilmektedir. Ayrıca Model-Check ile tasarım kuralları, tasarım öncesinde belirlenerek, hatalar minimuma indirilmektedir. Ürünü pazarlama aşamasında ihtiyaç duyulan Animasyon, Photo Render ve Patlatılmış Görüntü, hızlı ve kolay şekilde oluşturulabilmektedir. CreoParametric2.0, diğer Creo uygulamaları ile bütünleşik olarak çalışmakta olup, ürün geliştirme süreçlerinde verimliliği büyük ölçüde arttırmaktadır” [14].

2.4. Mekanizma Tasarımı

Bir mekanizmanın davranışlarını; modellerin ağırlıklarını, kuvvetleri, ataleti, sürtünmeyi, yay etkisini, bağlantıları vb. etkenleri dikkate alarak makine dinamiği hesapları ile simüle etme ve doğrulama yapmanızı sağlar [14].

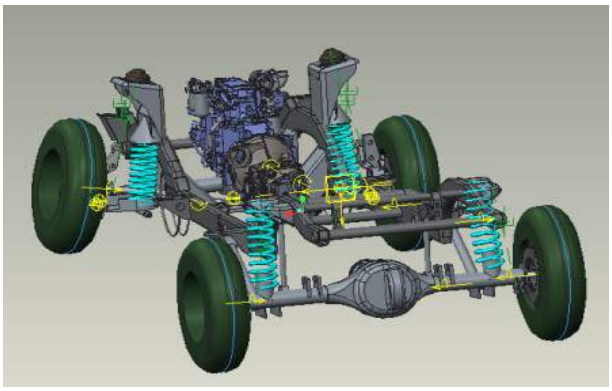
Şekil 7. Creo Parametric Mechanism Menüsü [14]

2.5. Mekanik Simülasyon

Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Kuvvet, basınç, sıcaklık ve deformasyon gibi dış yüklere maruz kalan parça ve montajların davranışlarını, mekanik dayanımlarını ve yorulma ömürlerini doğrulamak için kullanılır [14].

2.6. Araç Dizaynı ve Tanımlar

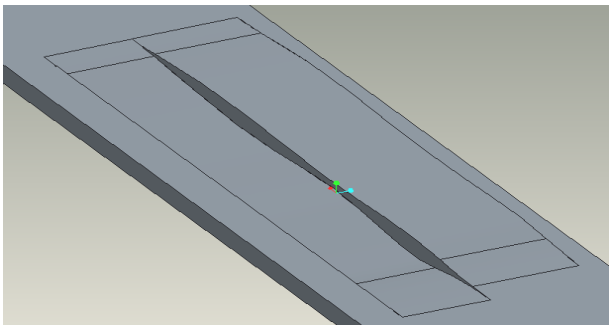
Şekil7’de, off-road araca ait şasi ve süspansiyon modellemesi görülmektedir. Tasarlanan off-road aracı mekanizma modülünde yay ve damper tanımlamaları yapılarak aracın süspansiyon üzerinde yükte kalması hedeflenmiştir.



Şekil 8. Aracın şasi ve süspansiyon sistemi CAD modeli.

2.7. Off-Road Parkur Tasarımı

Off-road araç için tasarlanmış olan parkur araç süspansiyonunun en fazla zorlanabileceği yol profili düşünülerek tasarlanmıştır. Yol profili aynı zamanda araç süspansiyonun maksimum ve minimum hareket miktarlarını simüle etmektedir.

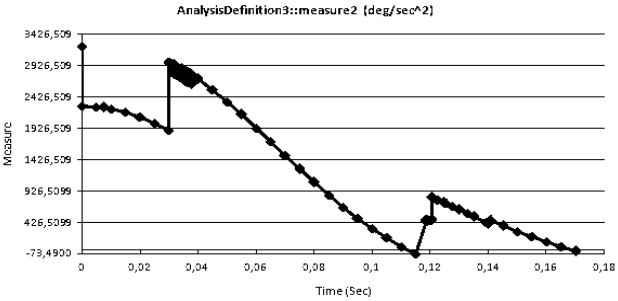


Şekil 9. Parkur Profili.

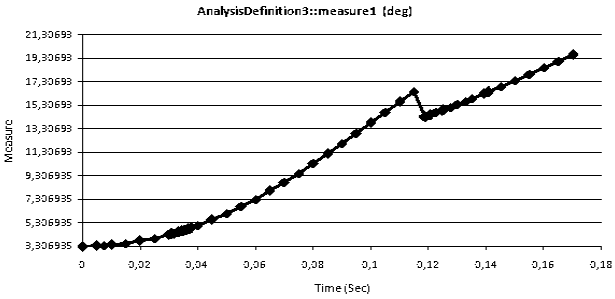
3. Analiz sonuçları

3.1. Dinamik analizler

Off-road araç için tasarlanmış olan parkurda koşturulan araç süspansiyon hareketi zeminden ve şasiden gelen yüklere maruz kalmaktadır. Dinamik analiz için araç koşturulmuş ve araç üzerine gelen yükler parça bazında tespit edilmiştir.



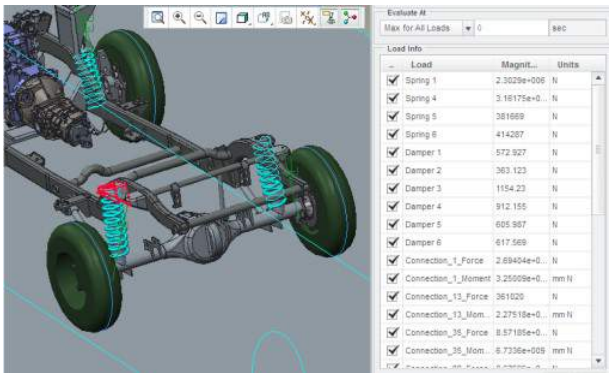
Şekil 10. Mafsal İvme Grafiği.



Şekil 11. Mafsal Pozisyon Grafiği.

3.2. Off-Road Araç Reaksiyon Yükü Oluşumları

Zemin kuvvetleri ile yüklenen yapıyı oluşturan parça bağlantılarında oluşan tepki kuvvetleri mekanizma modülü içerisinde bulunan analysis bölümündeki Use in Simulation kısmından hesaplatılabilmekte olup bu bölüm sadece dinamik analiz yapıldığı zaman kullanılabilmektedir.

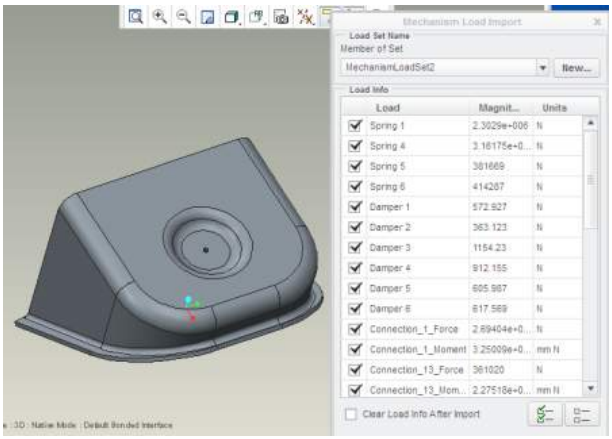


Şekil 12. Bazı parçalarda oluşan reaksiyon kuvvetleri.

3.3. Tasarlanan Off-Road Aracın Parça Analizleri

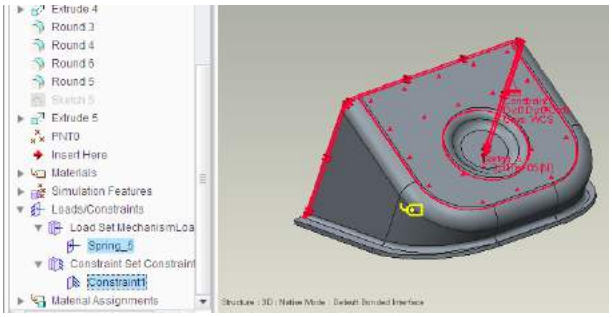
Tasarlanmış olan araç üzerindeki parça bazı analizlerinin yapılabilmesi için mekanizma modülündeki yüklerin Simulate modülüne aktarımı önem kazanmaktadır. Loads bölümünden Mechanism Load kısmına girerek istemiş olduğumuz maksimum veya minimum yükleri de hesap ederek statik analiz sonucu elde edilir. Gerçek koşullarda araç üzerinde maksimum yüke maruz kalan parçaların analizleri ele alınmıştır. Sonuç olarak bakıldığında parça üzerine gelen gerilim ve deplasman değerlerinin yüksek olduğu analiz sonuçlarında da görülmektedir. Tasarlanmış olan araç üzerindeki parça veya braketlerde meydana gelen kuvvetlerin çıkarılması ile Simulate kısmına aktarılan kuvvetler sonucunda parça üzerine gelen yükler analiz ve optimizasyon ortamına çevrilerek son ürün elde etmiş olunacaktır.

Her bir parçanın hesaplanan dış yüklerini Mechanism Load içerisinde tablo halinde görme imkânı vardır. Analizde bütün yükleri kullanmak mecburiyeti gibi bir kavram söz konusu değildir. Maksimum ve parçanın en çok yüke tabi tutulduğu bölgedeki yükler seçilerek analiz süreci başlatılabilir. Bu işlem aynı zamanda daha kısa sürede gerçek verilere yakın değerler elde etmek amacıyla da kullanılabilecektir.



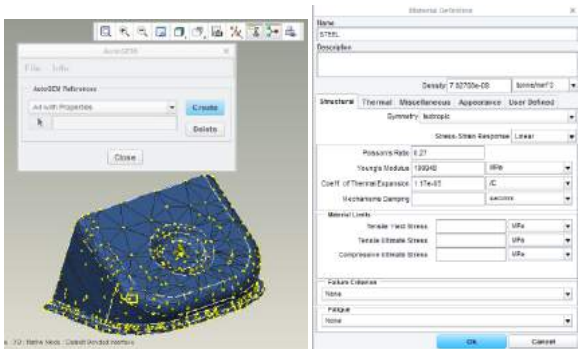
Şekil 13. Mekanizma yüklerinin Simülate ekranı üzerinde Gösterimi.

Parçanın araç üzerindeki görev ve konumunu temsilen, sınır koşulları ve dış yükler şekildeki gibi tanımlanmış ve artık analiz işlemi için start aşamasına gelinmektedir. Tasarlanan araç üzerindeki parçaların meshlenmesi statik analiz öncesi yapılması gereken en önemli işlemdir. Bu aşama sadece Creo Parametric için değil tüm sonlu eleman analiz programlarının zorunlu adımı olarak kabul edilir.

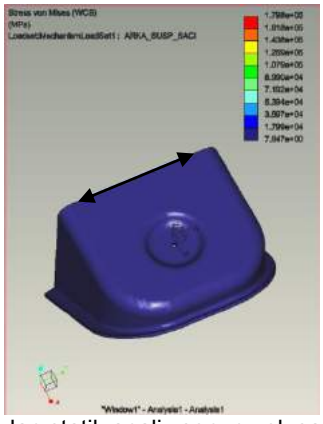


Şekil 14. Parçanın modelinde yükler ve sınır koşullarının tanımlanması.

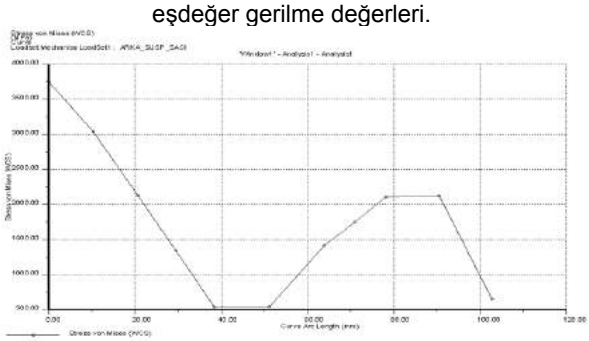
Analiz edilecek parçanın sınır koşullarıyla sabitlenmesi ve yük tanımlarının yapılmasıyla meydana gelen minimum ve maksimum gerilme değerleri VonMises eşdeğer gerilmesi cinsinden elde edilmiştir.



Şekil 15. Simulate ortamında parçanın mesh modeli ve malzeme tanımlama adımı.

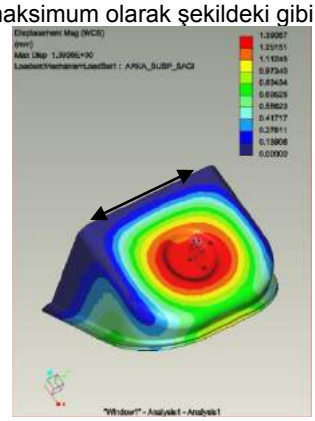


Şekil 16. Yapılan statik analiz sonucu oluşan VonMisses eşdeğer gerilme değerleri.

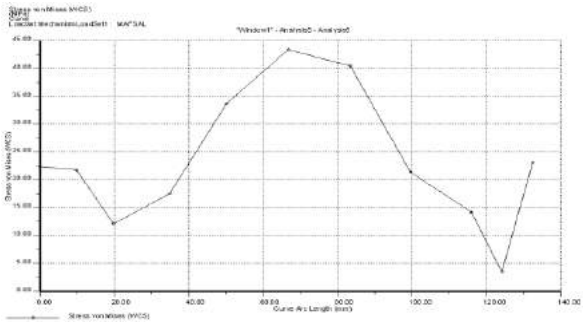


Şekil 17. Yapılan statik analiz sonucu oluşan VonMisses eşdeğer gerilme değerleri grafiği.

Belirlenen başlangıç sınır koşulları ve yük tanımlarının yapılmasıyla meydana gelen deplasman sonuçları minimum ve maksimum olarak şekildeki gibi belirlenmiştir.

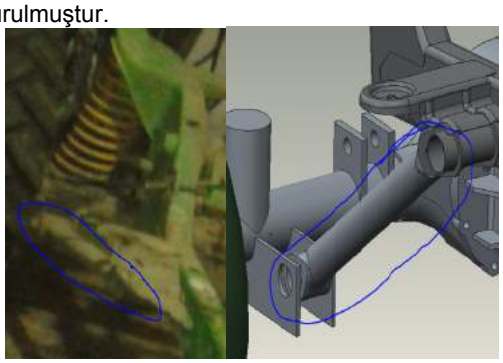


Şekil 18. Yapılan statik analiz sonucu oluşan deplasman değerleri.

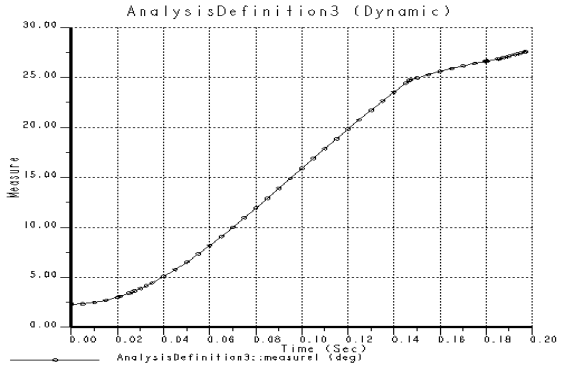


Şekil 19. Yapılan statik analiz sonucu oluşan deplasman değerleri grafiği.

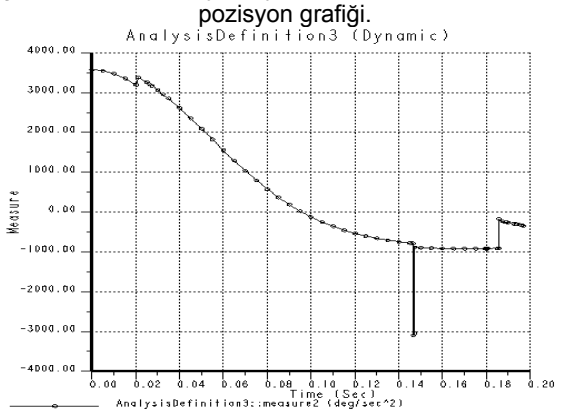
Mafsalın hareketi aracın yol profili üzerinde izlediği ve süspansiyonun hareketi ile bağlantı mafsalı hareket grafiği oluşturulmuştur.



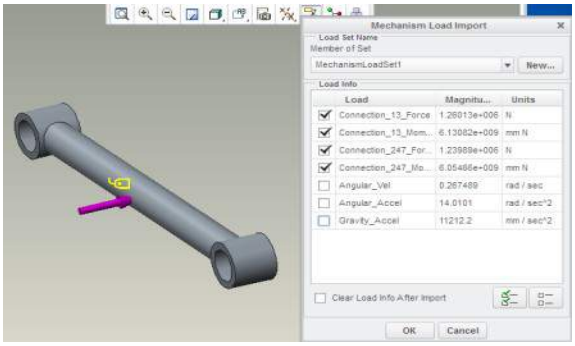
Şekil 20. Mafsalın araç üzerindeki montaj görünümü



Şekil 21. Optimizasyonu yapılan mafsalın mekanizma pozisyon grafiği.



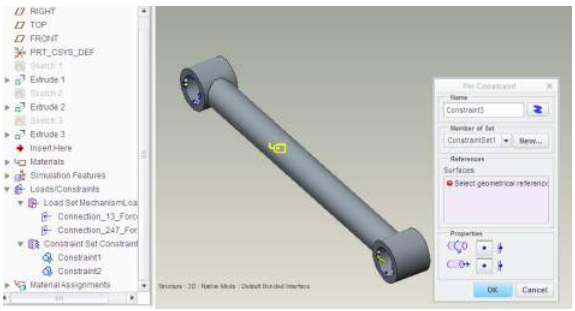
Şekil 22. Optimizasyonu yapılan mafsalın mekanizma ivmelenme grafiği.



Şekil 23. Mekanizma yüklerinin Simulate ekranı üzerinde gösterimi.

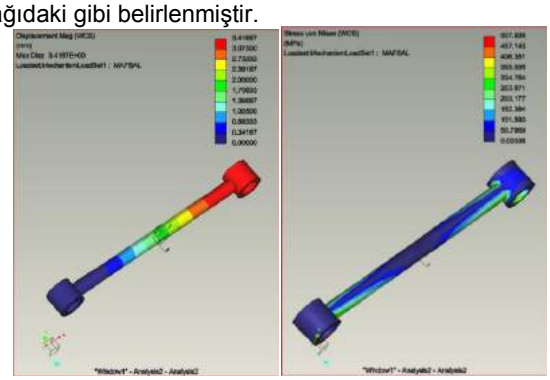
Şekil 24. Simulate ortamında parçanın sonlu elemanlara bölünmesi (mesh).

Tasarlanan araç üzerindeki bağlantı tipi parçayı sabitleme şeklinde değildir. Gerçek şartlardaki çalışmasını temsil edecek şekilde Pin bağı yapılmıştır. Bu,tek serbestlik dereceli dönme özellikli bir kısıtlama işlemidir. Parça mekanizma modülünde yine aynı şekilde pin bağlantılıdır. Yani parça sabit değil, hareketlidir.



Şekil 25. Parçanın yüklerinin ve sabit konumunun tanımlanması.

Analiz sonucunda elde edilen deplasman ve eşdeğer VonMises gerilme sonuçları minimum ve maksimum olarak aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

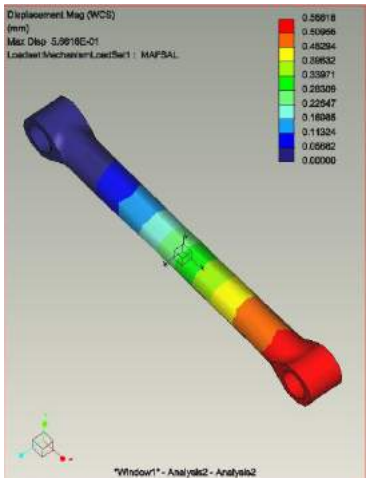


Şekil 26. Yapılan statik analiz sonucu oluşan deplasman ve Von Mises eşdeğer gerilme değerleri.

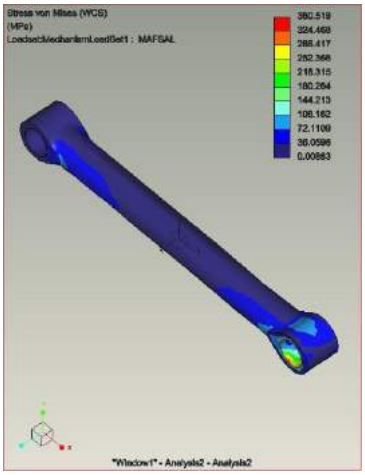
4. Yapısal Optimizasyon

Optimizasyon çalışması sonucunda, Creo programı, belirlenen limit kriterleri aralığında en iyi değerleri elde etmiştir.

Optimizasyon çalışmasının tamamlanması sonrasında yeniden yapılan statik analizde oluşan deplasman değerleri ve VonMises gerilme değerleri Şekil 27 ve 28 de görülmektedir.



Şekil 27. Optimizasyon sonrası elde edilen deplasman değerleri.



Şekil 28. Optimizasyon sonrası elde edilen gerilme değerleri.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışma sonunda, optimizasyon öncesi ve sonrasında, üzerinde çalışılan parçada oluşan gerilme (Şekil 26-28) ve deplasman (Şekil 26-27) değerlerinde belirgin bir düşüş gözlenmekte olup, bu sonuçlardan mühendislik sürecinin başarılı olduğu görülmektedir. Optimizasyon öncesi 30mm olan mafsal çapı optimizasyon sonrası 48mm'ye çıkarılmıştır. Optimizasyon öncesi kaynak imalatı ile üretilen parçanın aslında dökümden üretilmesi gerektiği optimizasyon sonrası mafsal kollarının uç kısımlarına R20 radius kırılarak saptanmıştır. Çalışmanın istenilen süreler ve yüksek kapasiteli düzgün sonuçlar almak için

çalışmanın yapılacağı bilgisayar donanım ve yazılımları yeterli derecede olmalıdır.

Kaynaklar

[1] Altıparmak, D., Şasi Ders Notları, Ankara, 2000.
[2] VOLKSWAGEN, Eğitim Notları, 2000.
[3] Anlaş, İ, Şasi, MEB Yayınları, Altıncı Baskı, İstanbul, 1996.
[4] http://www.frmtr.com/arazi-araclari/4269521-arazi araclari-ve-off-road-kavrami.html
[5] Orgül B.O. et al, Ticari Araç Geliştirme Projesi Kapsamında Dinamik Modelin Testler İle Doğrulanması OTEKON 2010 5. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 07 – 08 Haziran 2010, BURSA.
[6] Tebby S. et al, MethodstoDetermineTorsionStiffness in an Automotive Chassis.,Computer-Aided Design & Applications, PACE (1), 2011, 67-75 © 2011 CAD Solutions, LLC.
[7] Kağnıcı F. ve Dileroğlu S. CNG Dönüşümü Yapılan Bir Hafif Ticari Aracın Süspansiyon Bölgesinin CaeMetodları İle Geliştirilip Testler İle Doğrulanması.OTEKON 20126. Otomotiv Teknolojileri Kongresi 04 – 05 Haziran 2012, BURSA
[8] Motorsports' StiffChassis Monte Carlo theWave of theFuture of JustAnother Dinosaur?", RACER Magazine, pp. 32-36, 1997.
[9] 6. NASCAR Winston Cup RuleBook, 1997.
[10] Thompson L. et al, Design of a WinstonCup Stock Car Chassis for Torsional Stiffness, 1998 Motor sports Engineering Conference Proceedings Volume 1: Vehicle Design and Safety (P-340/1) Dearborn, Michigan November 16-19, 1998
[11] Keiner, Henning. "Static Structural Analysis of a Winston Cup Chassis under a Torsional Load". Report TR-95-100-ME-MSP. Department of Mechanical Engineering, Clemson University, 1995.
[12] Çalışkan M. Modern KM obüs kulesinde zırh kalınlığının bilgisayar destekli optimizasyonu. Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 2002.
[13] Çayıroğlu İ. Bilgisayar Destekli Tasarım Ve Analiz Ders Notları, Karabük Üniversitesi Müh. Fakültesi.
[14] http://www.infoma.biz/urunler/creo/creo-parametric

BACAK EKLEMLERİ VE KASLARININ REHABİLİTASYONU İÇİN MEDİKAL DESTEK ÜNİTESİ TASARIM VE İMALATI

DESIGN AND MANUFACTURE OF A MEDICAL SUPPORT UNIT FOR REHABILITATION OF LEG JOINTS AND MUSCLES

Cevdet GÖLOĞLU [a], İclal KURT [b], Ahmet Fırat AKYAZ [c], Aşkın KİRENLİ [d]
[a, b, c, d] Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 78050 Karabük / Türkiye, cgologlu@karabuk.edu.tr
iclal.kurt@hotmail.com; askinkirenli@gmail.com; firatakyaz@gmail.com

Özet

Fizik tedavi uygulamalarında yaşın ilerlemesi, kaza, ameliyat, vb. durumlardan dolayı bacak eklemleri ve kaslarında oluşan hareket kısıtlamalarını tedavi etmek için Sürekli Pasif Hareket (SPH) uygulamaları sağlık personeli tarafından kas gücü ile yapılmaktadır. Fizik tedavide, bacak eklemleri ile kaslarının rehabilitasyonu ve fizyoterapisinde kullanılmak üzere, otomasyon sistemi sayesinde sağlık personeline yardımcı olacak mekanik hassasiyet ve sürekliliğine sahip bir medikal destek ünitesinin tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu medikal destek ünitesi ile medikal tedavinin kas gücü yerine otomasyon ile yapılması ve dolayısı ile verimliliğin arttırılması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Sürekli Pasif Hareket (SPH), Eklem Hareket Aralığı (EHA), otomasyon, fizyoterapi

Abstract

In physical treatment applications, Continual Passive Motion (CPM) treatments are employed to heal leg joints and muscle restraints that occur due to over aging, accident, surgical operation etc. by therapist's muscle power. A medical support unit, which has mechanical accuracy and continuity via its automation system, is designed and manufactured for the rehabilitation of leg joints and muscles and their physiotherapy in helping therapists.It is aimed that the medical treatment can be made by the medical support unit designed instead of muscle power and thus efficiency is increased.

Keywords: Continual Passive Motion (CPM), Joint Movement Interval (JMI), automation, physiotherapy

1. Giriş

Rehabilitasyon, hastalık ve yaralanma nedeniyle fiziksel, hissel ve zihinsel yeteneklerini kaybetmiş hastalara yeniden yeteneklerin geri kazandırılmasını ve bununla beraber medikal olarak tedavi edilemeyen bazı eksikliklerin yerini doldurmak için yapılan faaliyetler olarak ifade edilir [1]. Teknolojik ilerlemeler eşliğinde geliştirilen yeni tedavi cihazları ve yöntemleri sayesinde rehabilitasyon tedavisinden yararlanan hastaların sayısı artmaktadır. Özellikle son on yılda, rehabilitasyon alanında kullanılan robotlar hakkındaki çalışmalar, eyleyiciler, algılayıcılar, bilgisayar ve sinyal işleme teknolojilerindeki gelişmeler ile yaygınlaşmıştır [1]. Robot veya otomasyon sistemi, mekaniğin sağladığı rijitlik, süreklilik ve kararlılık, programlanabilirliğin sağladığı hassasiyet, analiz ve kontrol ile pek çok tedavi yönteminde kullanım imkanına sahiptirler. Bu kapsamda PALMA serebral felçten etkilenmiş çocukların mobilizesine yardımcı olmak için kullanılan bir robotik bir cihaz olarak tasarlanmıştır [2]. Kullanıcıyı engellerden kaçındırması için basit stratejiler kullanarak güvenli navigasyon sağlamaktadır [2]. Ultrasonik algılayıcılar engelleri tespit için kullanılmış, denetim için PIC 16C73 mikro denetleyiciden yararlanılmıştır [2]. NeXOS görsel pozisyon bilgisini kullanarak aktif destekleyici, pasif ve dirençli egzersizleri gerçekleştirebilen iki serbestlik dereceli bir otonom sistem olarak yapılmıştır. Sistem diz ve kalça fleksiyon - ekstansiyon hareketleri için kullanılmıştır [3]. Robotik ve otomasyonun medikal uygulamalardaki katkısı sayesinde özellikle kas gücüne dayanan ve belli bir rutin gerektiren tedavi yöntemlerinden olan sürekli pasif hareketle tedavi uzun, zahmetli ve maliyet gerektiren bir yöntem olmaktan çıkmıştır.

Bu çalışmada bacak eklemleri ve kaslarının yaşlılık, trafik ve iş kazaları, savaş nedeniyle oluşan yaralanmalar, spor yaralanmaları, kalp krizi ve felç sonrasında meydana gelen aksaklıklar gibi durumların neden olduğu Eklem Hareket Açıklığının (EHA) azalması, bacak eklem ve kaslarının güç ve dayanıklılığının azalması ve kasların merkezi sinir sistemi ile uyumsuz etkileşimi gibi sorunların robotik sistemler kullanarak rehabilitasyonunun sağlanmasıdır.

2. İnsan Hareket Fizyolojisi

Sürekli pasif hareket uygulamalarında asıl amaç hastanın hareketlerinde oluşan kısıtlılıkları iyileştirerek eklemlerinin normal durumdaki hareket aralıklarının geri kazanmasını sağlamaktır.

Eklem hareket açıklığını kas, tendon, ligamanlar, eklem kapsülü gibi eklemi çevreleyen yumuşak dokular ve eklemi oluşturan kemik yapılar belirler [5]. Eklem hareket açıklığı kişisel farklılıklar gösterebilir [5]. Kadınlarda erkeklere göre daha fazladır ve yaş ilerledikçe azalır [5].

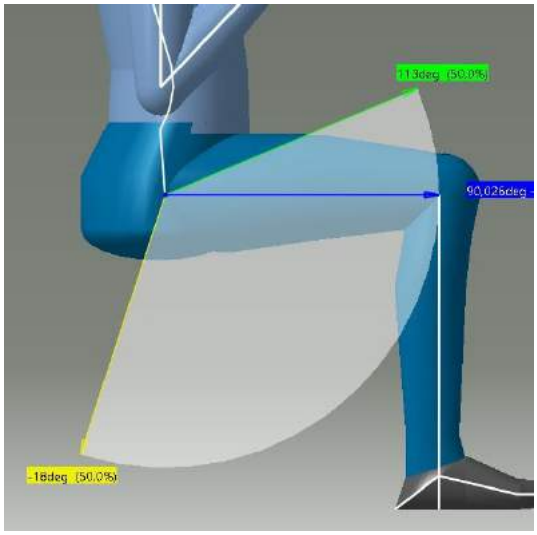
Alt uzuvlarda oluşabilecek olası sorunlar şu şekilde belirtilmiştir [5];

- Artrit, kontraktür ve intraartiküler kırık gibi durumlarda immobilizasyonun olumsuz etkileri ve postoperatif komplikasyonların sıklığı,
- Cerrahi işlemleri takiben oluşan hareket kısıtları
- Adezyonların ve kontraktür oluşumu,

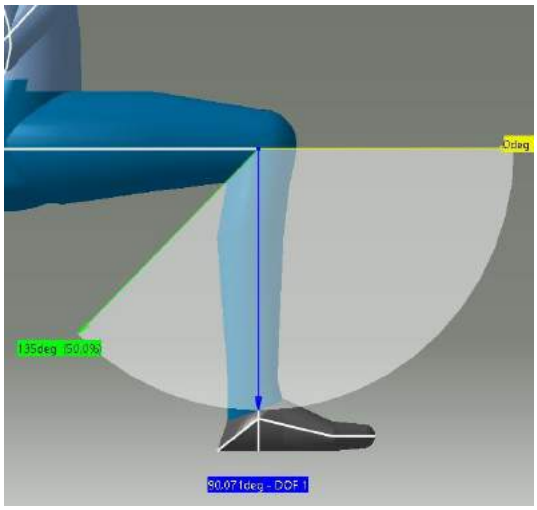
© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

- Postoperatif ağrı oluşumu,
- Bacak ekstremitenin nutrisyonel sorunları,
- Eklemin sinoviyal sıvı lubrikasyonunu azlığı,
- Eklem efüzyonu ve yarada ödem oluşması,
- İntraartiküler kıkırdak sorunlarıdır.

Yukarıda belirtilen sorunlar sürekli pasif hareket uygulanarak tedavisi sağlanmaktadır. İnsan vücudundaki bükme hareketleri fleksiyon, germe hareketleri ise ekstansiyondur. Eklemlerde germe hareketi zorlanarak yapılıyorsa buna hiperekstansiyon denir. Bacağın, kalça ekleminden fleksiyon hareketi yaklaşık 120° dir. Ancak çoğu insan bu hareketi diz bükülü iken gerçekleştirebilir. Kalçadan gerçekleştirilebilen hiperekstansiyon ise 45° civarındadır (Şekil 1-2).



Şekil 1. Uyluk kısmının fleksiyon - ekstansiyon hareketi



Şekil 2. Baldır kısmının fleksiyon- ekstansiyon hareketi

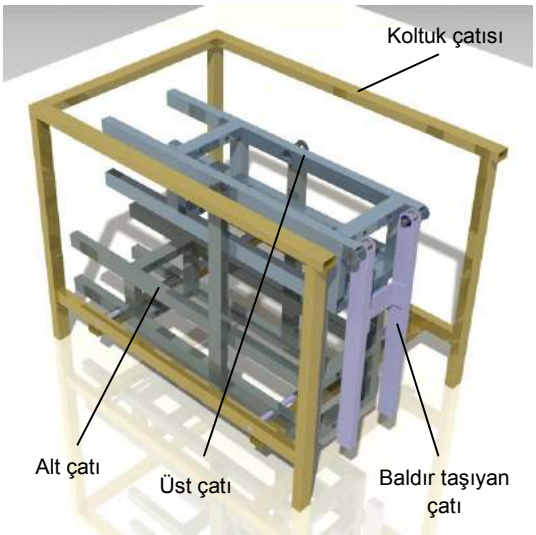
3. Sistemin Tanıtılması

Sistemin tasarımında düşük maliyet, güvenlik ve yüksek stabilite amaçlanmıştır. Sistemin ileride geliştirilebilmesi için tasarımın mümkün olduğunca basit, temel parçalarının rahatlıkla sökülüp takılabileceği ve temin edilmesi konusunda zorluk yaşanmayan standart parçalardan oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmada oturan bir insan için uyluk kısmının hareketi 0-30°, baldır kısmının hareketi 0-90° aralığında kabul edilmiştir. Tedavinin içeriğine göre üç tip hareket şekli mevcuttur. Birinci uygulamada baldır kısmı, ikinci uygulamada uyluk ve son uygulamada ise iki kısımda beraber hareket ederek genel olarak bacak hareketi pasif olarak sağlanmıştır Tasarlanan rehabilitasyon cihazı imalat kısmında temel olarak üç bölüme ayrılmıştır. Bunlar;

- Sistem platformu,
- Yataklama sistemi ve elemanları,
- Hareket sistemi elemanları

3.1. Sistem Platformu

Sistemin platformu; cihazın tahrik sistemini, yataklama ve hareket sistemlerinin parçalarını ve tüm kuvvetleri taşıyan çatıların, istenilen hareketi sağlayabilecek şekilde birleştirilmesi sonucunda sistemin gövdesini oluşturan en önemli kısımdır. Çatılar 20×30 mm'lik profilden imal edilmiş ve her çatı kaynak konstrüksiyon ile birleştirilmiştir. Uyluk hareketini sağlayan (alt çatı), baldır hareketini sağlayan elemanların bağlandığı (üst çatı) ve baldırı taşıyan çatı olmak üzere üç ayrı çatı, koltuk çatısı içindeki kızaklı sisteme bağlanmıştır. Koltuk, mekanizmaya özel olarak tasarlanmıştır. Sistemin her iki bacak için kullanılmasını sağlamak için koltuğun içerisinde kızak sistemi bulunmaktadır. Gövdeyi oluşturan dört alt çatı Şekil 3'te gösterildiği gibi birleştirilerek sistemin ana platformu oluşturulmuştur.



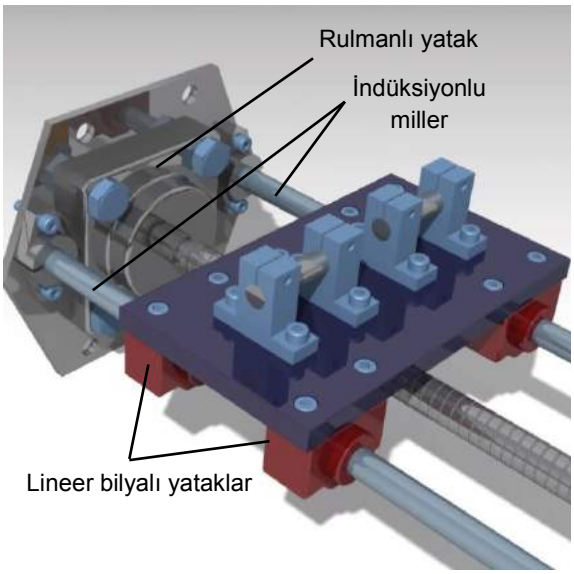
Şekil 3. Sistemin Platformu

Bu rehabilitasyon cihazının tasarımındaki ilk adım, bacak ölçülerine göre platformun boyutlandırılmasıdır. Türkiye'de 1884 ve 2006 yılları arasında yaşayan insanların ortalama boylarının uzunluğu, yapılan araştırma sonucu erkeklerde 1620 mm'den 1740 mm'ye yükseldiği, bayanlarda ise 1530 mm'den 1590 mm'ye yükseldiği tespit edilmiştir [6]. Bu durum göze alınarak cihaz çatıları 1600-1800 mm boy aralığındaki insanların kullanabileceği bir sistem oluşturacak şekilde boyutlandırılmıştır.

3. 2. Yataklama sistemi ve elemanları

Sistemin hareket iletim sisteminde kullanılan yataklama elemanları, veriminin yüksek olması hedeflenerek

sürtünmeyi en aza indirecek ve performans/fiyat oranı yüksek parçalardan seçilmiştir. Yataklama sisteminde temel olarak rulmanlı yataklar, doğrusal bilyalı yataklar ve CK 55 malzemeden imal edilmiş krom kaplı yüzeyi sertleştirilmiş indüksiyonlu miller kullanılmıştır. Şekil 4'te kullanılan yataklama parçaları gösterilmiştir.



Şekil 4. Yataklama sistemi

3. 3. Hareket sistemi elemanları

Hareket sisteminin temelinde vidalı miller, kaplinler ve bilyalı somunlar kullanılarak doğrusal kızaklı iki sistem tasarlanmıştır. Motordan alınan dönme hareketi, kaplin ile doğrudan vidalı mile aktarılır ve bilyalı somun aracılığı ile vidalı mil üzerinde doğrusal hareket elde edilmektedir. Bilyalı somun sayesinde motor tahriğinden elde edilen verim %90 üzerindedir. Bu verim hesaba katıldığında sistem 120 kg ağırlığındaki bir yükü rahatlıkla kaldırılabilmektedir.

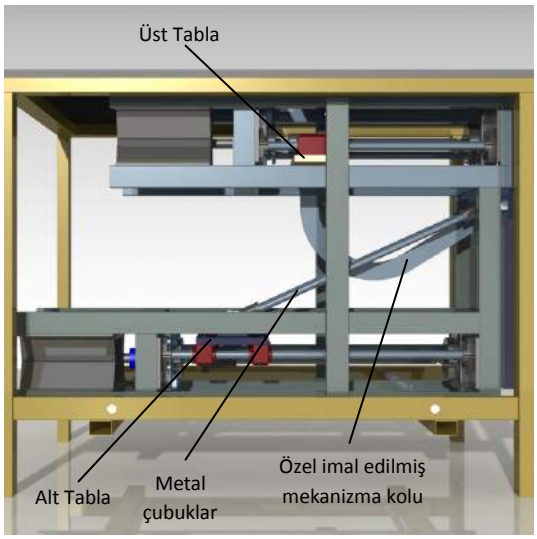
Uyluk hareketi, bir ucu alt çatıdaki hareketli tablaya bağlanan, diğer ucu ise üst çatının ucuna bağlı metal çubukların oluşturduğu mekanizma ile doğrusal hareketi açısal harekete çevirme işlemi sonucu gerçekleşmektedir. Baldır hareketi de aynı şekilde üst çatıdaki hareketli tablaya bağlanan özel imal edilmiş mekanizma kolunun baldır taşıyan çatıya bağlanması sonucu gerçekleşmektedir (Şekil 5).

3.4. Denetim

Sistemin tahrik mekanizmasında, motor denetimi otomasyon sistemlerinin en önemli parçası olan, AC Servo Motor ve sürücüsü kullanılmıştır. Çalışmada servo sürücü ile servo motorun devir, konum ve tork kontrolünün yapılması hedeflenmiştir. Bakımı kolay, yüksek tork isteğini karşılayabilen, hassas konum kapasitesine sahip, boyutu küçük ve hafif, kapasitesi 400W olan SM tip AC Servo Motor ve sürücüsü tercih edilmiştir (Şekil 6).

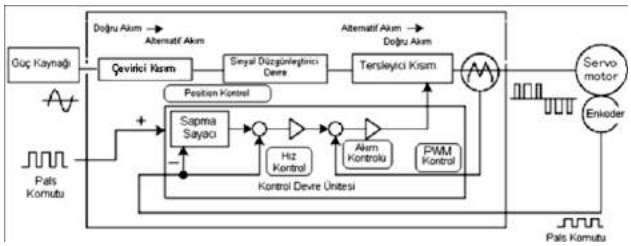
Genel olarak bir servo sürücü iki ana kısımdan oluşur [7].

- Güç kaynağı bölümü
- Motor sürme bölümü



Şekil 5. Hareket mekanizması

Şekil 6. Servo Motor ve Sürücü



Şekil 7. Servo Sürücünün Yapısı [7]

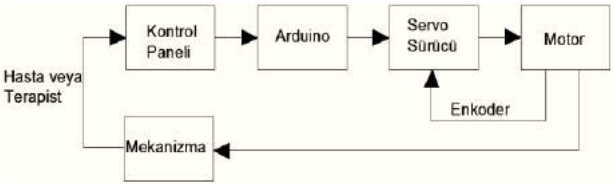
Çevirici (Konvertör), şebekeden gelen AC akım DC akıma çevirmektedir. Sinyal Düzgünleştirici, DC akımdaki dalgalanmaları düzenlemektedir. İnverter, DC akımı AC akıma çevirmekte, işlem yapılırken oluşturulacak yeni AC akımın değişken frekansını düzenlemektedir. Kontrol Devre Ünitesi, referans komutlar ile sayılan komutların kontrol edildiği geri besleme bölümü olarak adlandırılmaktadır [7].

Seçilen bu motorda geri besleme elemanı olarak enkoder artımlı tip (her pozisyonda benzer çıkış sinyalleri üretirler) enkoder seçilmiştir. Enkoder, doğrusal ya da döner hareketi temsil eden palsler üretmektedir. Bu palsler sayılarak hız ve konum bilgisi elde edilmiştir.

Sistemin mikrodenetleyicisi olarak Arduino ve işlemcisi olarak da ATmega328 entegresi seçilmiştir. Arduino'dan

servo sürücüye gerekli komutlar gönderilerek, sürücünün motorun hız, konum ve tork kontrolünü gerçekleştirmesi sağlanmıştır. Sistem donanımının blok diyagramı Şekil 9'da verilmiştir.

Şekil 8. Arduino kartı



Şekil 9. Sistemin Donanım Yapısı

4. Sonuç

Geliştirilen uyluk bölgesine 0-30° ve baldır bölgesine 0-90° açılı fleksiyon - ekstansiyon hareketleri sağlayabilen ve bu hareketlerin aynı anda kullanılabilmesini sağlayan, sağlık personeli ve hastaların rahatlıkla kullanabileceği düzeyde kontrol sağlayabilen bir medikal destek ünitesi geliştirilmiştir (Şekil 10-11).

Şekil 10. Hareket sistemleri kapalı (uyluk hareketi 30°)

Şekil 11. Uyluk ve baldır hareket sistemleri açık (baldır hareketi uyluğa göre 90°

Teşekkür

Bu çalışma, TÜBİTAK BİDEB 2241/A kapsamında 2013-2014 döneminde desteklenmiştir. Yazarlar destekten dolayı TÜBİTAK'a teşekkür eder. Makaleye verdiği medikal alan desteğinden dolayı Y. Doç. Dr. M. Kamil Turan beye teşekkür ederiz.

Kaynaklar

[1] Rehabilitasyon Danışmanları ve Fizyoterapistler için Rehabilitasyon Teknolojileri Eğitim Notları-III, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 2012.

[2] Ceres, R., Pons, J. L., Calderon, L., Jimenez, A. R., Azevedo, L., A., Robotic Vehicle for Disabled Children, In Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE, vol. 24, Issue 6, pp. 55-63, 2005.

[3] Bradley, D., Marquez, C., Hawley, M., Brownsell, S., Enderby, P., Mawson, S.,. NeXOS - The design, development, and evaluation of a rehabilitation system fort he lower limbs, Mechatronics, 19, pp. 247-257, 2009.

[4] Yalçın, B., Akdoğan, E., Tüfekçi, C., Fizyoterapist Hareketlerinin Modellenmesi Amaçlı Model Referans Uyarlamalı Kontrolör Tasarımı, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Eylül 2013.

[5] Yıldız, S. Yaşlı Bakım Teknikerliği Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Dersi 8. Ders Notu. 2011 Eğirdir Kemik Eklem Hastalıkları Tedavi ve Rehabilitasyon Hastanesi

[6] Özer, B. K., "Secular trend in body height and weight of Turkish adults", Anthropological Science, vol. 116, no. 3, pp. 191–199, 2008.

[7] Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri Servo Sürücüler Servo Sürücünün Yapısı, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı Endüstriyel Otomasyon Teknolojileri, Ankara, 2009.

DESIGN OF CONTEMPRARY SCHOOL CHAIR

Danijela DOMLJAN [a], Zoran VLAOVIC [b], Ivica GRBAC [c]
[a] University of Zagreb Faculty of Forestry, Zagreb, Croatia, E-mail: ddomljan@sumfak.hr; zvlaovic@sumfak.hr; ivica.grbac@zg.t-com.hr

Abstract

The furniture in contemporary schools has to be designed in accordance to the pupils' new needs. Aiming to prevent pains and injuries and to protect health of pupils this study uses an interdisciplinary designers' approach for design of school chairs.

Keywords: School chair, sitting, design, concept, development

1. Introduction

Contemporary schools are undergoing dynamic changes [1]. Pupils spend lot of time in the classrooms, so the environment has to be design- and user-oriented. It means that all equipment, specially the furniture, has to be comfortable and designed in accordance to the pupils' needs and behaviour. This is an important problem from the design viewpoint where there is an interdisciplinary combination of medical, pedagogical, orthopaedic, ergonomic, design and construction-related, technical and technological, environmental, economic and many other factors [2].

New approaches in designing new school furniture and, thus, a new environment make the basis for designing a new educational environment based on new findings and contemporary concepts. Numerous disadvantages in today's common school environment on the global level implies a growing necessity to find new approaches for a different kind of workspaces for pupils where design could reduce long-term static body position and potential pains and disorders [2, 3, 4].

In Western cultures pupils have traditionally been seated in school chairs and tables as in the official ''workplace'' [5]. Chardon [6] find out that in traditional school pupils spend about 92% of their working time in static sitting, 3% in dynamic sitting, 3% in active/walking and 2% in standing position. When assumed for long periods of time, the standard chair-sitting posture, proposed even by international standards [7, 8] puts considerable stress on the lumbar spine [9].

Aiming to prevent possible pains and injuries and to protect the health of the young population this study uses an interdisciplinary approach to tackle the problem of designing new workspaces, especially chairs for pupils in primary schools.

During the research and development phase various demands and design parameters are defined: shape, dimensions, function, construction, materials, technology and others. The aim of the study is to design a prototype of a contemporary school chair as a prerequisite for preserving the pupils' health.

This paper presents new approaches in designing contemporary school chairs based on the findings and results of the scientific researches published in a doctoral thesis [2] conducted upon the project „Development of the wooden products with the aim of prerequisite humans health", at the Faculty of Forestry Zagreb, Department of Furniture and Wood Products, supported by Ministry of Education and Sport Republic of Croatia.

2. Research objectives

The research objectives were divided in two main phases. First phase was to observe and note the present state in equipping elementary school classrooms, and to analyse whether the design of school chair and tables correspond with different body positions observed in pupils. Based on the collected data [published in:5, 10, 11, 12], the second phase was to establish new demands and design parameters for designing a prototype of a school chair especially in terms of health, function, use of adequate materials, construction technology, visual perception, price and quality.

New guidelines and demands must correspond with the newly emerged and contemporary teaching methods and provide comfortable, safe, motivating and creative schoolwork, in order to preserve pupils' health.

3. Research methods

The survey was conducted on the basis of questionnaires, observation methods, video screening and photographs, as well as drawing of the pupils. Both video and still camera were used to take video and photographs of pupils sitting in classrooms and record design and structure of the tables and chairs used in the classrooms. The accent is put on unsuitable and unnatural body positions observed in pupils using the on-site furniture, which can, from a biomechanical and ergonomic point of view, cause physical conditions and pains, and for a long period of time potentially threaten the overall health condition.

The questionnaires and drawings of the pupils were designers' methods how to collect the opinions and wishes of the users. The surveys were conducted on primary school pupils from the first to the eight grade at the five locations: primary schools in the City of Zagreb and the Zagreb County in Croatia.

Fig. 1 and Fig. 2 show some usual sitting position of the pupils during class. On the Fig. 3 there is a drawing of pupils' ideal classroom equipment according to their wishes and attitudes.

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

Fig. 1 Swinging in the chair

Fig. 2 One of pupils' sitting positions while writing

Fig. 3 Drawing of the pupils' ideal classroom drawn by pupil at 3rd class

4. Results and discussion

The analysed results confirming that the existing school furniture in classrooms does not correspond with the contemporary needs and attitudes, wishes and behaviour, even anthropometric measures of pupils, posing a potential threat and leading to momentary injuries and health conditions in later stages of life. At the same time, such conditions negatively reflect on creativity and academic results. Pupils are not satisfied with the shapes, dimensions and functionality of the furniture. In line with that, a set of requirements and design parameters were defined in relation to medical, ergonomic, pedagogic, aesthetical, functional, constructional, qualitative, psychological, environmental and other requirements.

4.1. Medical requirements

New design of a school chair has the goal to prerequisite the pupils' health. Important is to underline the occurrence of fatigue, which can be eliminated with frequent changes of body positions. In that respect, design and structure of a chair should foresee a possibility to change the position of the top and lower parts of the body without standing up, to move the pelvis and torso, rotate the body and alternate the whole body position. Active and dynamic sitting is preferable and recommended.

4.2. Pedagogical requirements

In line with the development of education and changing teaching curriculum, classroom furniture should be light weight and movable. Chair's seat and back support should be adjustable depending on the height and inclination; chairs should also have arm supports and upholstered seats and backrests.

4.3. Ergonomic and anthropometric requirements

According to the participants' anthropometric measurements and the collected data there is a need for the introduction of at least four different heights of the school chair (minimum 4 size classes at the chair range from 34.8 to 46 cm). Every class should have at least three size groups of furniture in different colours so that every pupil know which height to use. It is also recommendable to use adjustable and mobile furniture and chose the desk's height according to the chair's dimensions. At the same time, the use of adjustable furniture should be promoted and explained.

4.4. Aesthetical requirements

Design elements should also be taken into account: the use of motivating and soft forms and ornaments in function of developing knowledge about the heritage, different styles and tastes along with tactile qualities of materials and the structure of the furniture elements. Materials should provide visual and tactile warmth and the surface structure should not be too glossy or slippery, the materials should be resistant to shocks, mechanical and chemical damages (for example: pencil marks or sharp objects). Solid wood and wood based materials are good option.

Studies [13, 14] show that the choice of a colour depends on child's age and influences the developmental and cognitive processes. For pupils in lower grades of primary school it is recommended to use primary colours (red, blue and green), and pastel colours in higher grades. This is not according the usage of colours in the standards (size marks), but the colours can be integrated in all interiors.

4.5. Functional requirements

Functional furniture implies an unobstructed learning process where pupils and teachers encounter no difficulties in an easier, quicker and simpler

accomplishment of their tasks while using of chairs and tables with adequate characteristics. In this sense, it is important to provide support for arms and legs on chairs (mobile, inclined, soft touch), warm and soft materials that prevent from sliding and possible injury. Furniture should also be movable, easy to clean, maintain and store.

4.6. Structural requirements

The improvements on the construction should be analysed in relation to the product function, body positions pupils take when seated as well as the acceptable price range, the purchase price for materials the product is made of and the standards [12]. The construction should prevent undesirable activities such as swinging on the chair, squirming, falling, injuries and so on and simultaneously stimulate desirable activities such as smooth movements, bending, turning around. It should also provide the adequate durability, strength, stability, safety, endurance and resistance of the surface as well as the quality of the material and precision in the production, easy maintenance, cleaning and servicing. The finishing should ensure the resistance of work surfaces to various mechanical, chemical and thermal influences and the use of materials and assemblies that provide the adequate flexibility, elasticity, rigidity, durability and other characteristics.

4.7. Product quality

Technical requirements relate to recommended standards, dimensions and product quality. In that respect, the product should provide resilience, adjustability and mechanical safety in various uses. It should be light in structure, durable and stable for long-term use with the adequate strength, rigidity and elasticity. Other important features relate to the product's technical requirements and complexity (standardized elements), rational use of materials in relation to design, quality of manufacturing and finishing process, durability, resilience and safety as well as the analysis of the product's characteristics, quality and warranty. Solid wood, wood based materials and composites are considered.

4.8. Economic requirements

Economic requirements are primarily related to the product's market value and competitiveness implying the following: estimated costs (price of materials used, choice of production process, versions of product design and construction and analysis of the market value), estimated value of the optimal solution in relation to the total price of all production phases, estimated competitiveness in relation to the existing products on the market, flexibility of production and delivery. Unfortunately, all furniture in educational institutions has to be "cheap". Economy is still in front of ergonomic and safety. It has to be changed.

4.9. Psychological and social requirements

The impression (or the impact) that the classroom arrangement leaves on pupils and their consciousness is one of the most important factors in the formation of the overall sense pupils get about the school. In that respect, it is important to have furniture that leaves a positive impression with acceptable, recognizable and associative design elements. Another important segment is the choice of colours and structures of materials giving a psychological, visual and tactile impression of warmth and pleasure stimulating creativity and productivity, whereas tactile softness and feeling of satisfaction stimulates willingness to preserve the furniture and the environment.

4.10. Environmental requirements

The awareness of the increasing problems related to the pollution of one's environment conditioned the development of individual consciousness about the need to preserve the environment and the school. The basic requirements are related to the application of healthy, environmentally friendly and safe materials, preservation of children's, teachers' and other employees' health in a healthy and safe environment, the protection of environment in the production phase and during the product's life spam, possibility to recycle the product as well as estimated energy costs, etc.

4.11 Prototype

The next step after establishing all important requirements was to design a new model and prototype of a contemporary school chair which combine and include all mentioned demands, as a prerequisite for preserving the pupils' health. The model is shown in the Fig. 4 and the prototype in the Fig. 5.

Fig. 4 A computer drawing of the school chair

Fig. 5 A prototype of the school chair.

5. Conclusion

The study confirmed the results of numerous contemporary surveys [3, 9, 15, 16] indicating that the existing design concepts and solutions for pupils'

workspaces in schools do not entirely support the contemporary needs of today's generations of primary school pupils. Their functional dimensions are not in line with pupils' anthropometric measurements and do not stimulate academic results and creative learning and working environment. It is very hard for children to physically adjust to the furniture, especially due to design and dimensional disproportion and because of the contemporary approach to work tasks, they become nervous, they squirm in their chairs and complain on the pain in certain parts of their bodies [2]. Thus, the impression of the classroom and school in general often becomes negative and repulsive, with a growing inclination towards devastation.

Aiming to prevent possible pains and injuries and to protect the health of the young population this study uses an interdisciplinary approach to tackle the problem of designing new sitting solutions for pupils in primary schools. Various requirements listed in the paper define the basic parameters for designing new concept of a school chair. Numerous disadvantages in today's school environment on the global level implies a growing necessity to find new approaches for a different kind of work spaces for pupils where design could reduce long-term static body position and potential pains and disorders. New solutions should create a motivating and pleasant atmosphere using active sitting position keeping the body in dynamic position all the time while sitting. This stimulates pupils and teachers in creativity and productivity. The adequate design models should try to create a stimulating dynamic environment for young people's healthy development and growth using active sitting positions.

Future investigations are oriented to production of a number of a school chair, testing their quality according the EU standards and starting new researches of the functionality and usability of the products in everyday life of the primary school pupils in order to find out is this design concept valuable.

References

[1] Higgins, S., Hall E., Wall, K., Woolner, P. and McCaughey, C., The Impact of School Environments: A literature review. Design Council. The Centre for Learning and Teaching. School of Education, Communication and Language Science, University of Newcastle, UK, pp. 1-47, 2005.

[2] Domljan, D., The Design of Contemporary School Furniture as a Prerequisite for Maintenance of Pupils' Health (in croatian), doctoral thesis, University of

[3] Breithecker, D., Enjoying school, Fun in learning. More health and well-being in the "school as place of work". A project report. (Lust auf Schule – Lust auf lernen. Mehr Gesundheit und Wohlbefinden am "Arbeitsplatz Schule" – Ein Projektbericht. Haltung und Bewegung vol. 20, no. 4, pp. 27-33, 2000.

[4] Nair, P. and Prakash, Gehling, A., Life Between Classrooms: Applying Public Space Theory to Learning Environments Annalise. Building Schools for the Future (BSF), British Council for School Environments, pp. 26-33, 2010.

[5] Domljan, D. Grbac, I, and Vlaović, Z., Pupils' working postures in primary school classrooms, Periodicum biologorum, vol. 112, no. 1, pp. 39-45, 2010.

[6] Cardon, G, De Clercq, D, De Bourdeudhuij, I. and Breithecker, D., Sitting habits in elementary schoolchildren: traditional versus a "Moving school". Patient Educ Couns, vol. 54, no. 2, pp. 133-142, 2004.

[7] Mandal, A.C., Investigation of the Lumbar Flexion of Office Workers, in Proceedings of the 1st International Occupational Ergonomics Symposium The Ergonomics of Working Postures. 15-17 April, Zadar, Yugoslavia, Taylor & Francis, London, pp. 345-354, 1986.

[8] EN 1729:1. Furniture - Chairs and tables for educational institutions. Functional sizes. ICS 97.140.

[9] Paracells, C., Stommel, M. and Hubbard, R.P., Mismatch of classroom furniture and student body dimensions. Empirical findings and health implications. J of Adolescent Health, vol. 24, no. 4, pp. 265-273, 1999.

[10] Domljan, D., Grbac, I. and Hađina, J., Classroom furniture design – compliance of pupils' and chairs' dimensions. Collegium Antropologicum, vol. 32, no. 1, pp. 257-265, 2008.

[11] Domljan, D., Vlaović, Z. and Grbac, I., Musculosceletal deformities and back pain in schoolchildren, in Proceedings of the 4th International ergonomics conference Ergonomics 2010, 30 June.- 3 July, Stubičke Toplice, Croatia, pp. 227-236, 2010.

[12] Domljan, D., Grbac, I., Compliance analysis of the school chairs and tables with the pupils' needs, in Proceedings of the International conference Wood is good - transfer of knowledge in practice as a way out of the crisis. 15 October 2010, Zagreb, Croatia, pp. 29-38, 2010.

[13] Carlegen, F., Odgoj ka slobodi. Pedagogija Rudolfa Steinera. Društvo za waldorfsku pedagogiju, Zagreb, 1990.

[14] Janković (Domljan), D., System of the school furniture. Didactics-educational equipment, school table (in croatian), MSc diploma, University of Zagreb, Faculty of Architecture School of design, Zagreb, 1996.

[15] Attinger, D., Gasser, H., Illi, U., Riesen, S., Schlumpf, U., Senn, E., Stüssi, E. and Weckerle, K., Sitzen als Belastung. Aspekte des Sitzens, Lehtunterlagen, PMSI Holdings Deuchland GmbH, Ismaning, München, 1993.

[16] Murphy, S., Buckle, P. and Stubbs, D., Classroom posture and self-reported back and neck pain in schoolchildren, Applied Ergonomics, vol. 2, pp. 113-120, 2004.

ENGELLİ İNSANLAR İÇİN ELEKTRİKLİ ARAÇ TASARIMI

ELECTRIC VEHICLE DESIGNED FOR PEOPLE WITH DISABILITIES

Mustafa BOZDEMİR
Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, E-posta: mustafabozdemir@kku.edu.tr

Özet

Günümüzde dünyanın globalleşmesi nedeniyle insanların uzakları yakın etmek için yeni imkanlardan yararlanmaları artmıştır. İnsanlar bu amaçla ulaşım, iletişim vb. birçok alanda gelişmeleri takip ederek, kullanarak birbirleri ile irtibatlarını arttırmışlardır. Bütün bunlar için gelişen teknolojinin bütün nimetlerinden yararlanmak önemli hale gelmiştir. Ancak günümüze kadar engelliler için, belki de teknolojinin yetersiz olması nedeniyle, topluma katılmaları çokta mümkün olmamıştır. Ancak, engelli insanların gündelik ve sosyal yaşamda sağlanan hizmetlerden diğer insanlar gibi yararlanmalarını temin etmek ve/veya bu hizmetlere yardımcı olmalarına destek vermek günümüz toplumunun önde gelen amaçlarından olmalıdır. Yapılan bu çalışma kapsamında, engelsiz araç diye isimlendirdiğimiz, tek kişilik, engellilerin tekerlekli sandalyeleri ile binebilecekleri ve basit bir yönlendirme aparatı yardımıyla sürebilecekleri, benzerlerini yurt dışında gördüğümüz bir araç tasarlanmıştır. Çalışmanın bir diğer amacı ise, ülkemizin cari açığına neden olarak gösterilen petrol ve türevlerinin araçlarda kullanımının engellenerek, yeni teknoloji olan elektriğin engelsiz araca eklenmesidir. Böylece karbon salınım düzeyine de katkı sağlanmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Elektrikli araç, araç tasarımı, engelli aracı, tekerlekli sandalye

Abstract

Nowadays, owing to the globalization of the world, people are increasingly benefiting from new facilities to make remote places closer. They are following advances in many areas and utilizing many facilities such as transportation and communication technologies to keep in touch. It has become important to take advantage of all the blessings of the developing technology. However, the disabled people have yet not been able to fully adapt themselves to the community they live in partly because of lack of technology in this particular field. In fact, ıt should be one of our priorities to help people with disabilities in everyday and social life to benefit from the services provided or contribute to the services that help to support such people. Within the scope of the paper, we are designing a single-passenger vehicle, named “unhandicapped car”, which people with wheelchairs can drive through a simple routing device. Similar vehicles are already in use in some other parts of the world. Another object of the paper is to reduce carbon emission and to contribute to the economy of our country by using an electric motor on this vehicle.

Keywords: Electric vehicle, vehicle design, disabled vehicle, wheelchair

1. Giriş

Türkiye nüfusunda 4,5 milyon engelli insan olduğu tahmin edilmektedir. Bu değer yaklaşık nüfusun % 6 sine tekabül etmektedir. Alınan kanuni önlemlerle engellilerin topluma kazandırılması amacıyla iş kanununda düzenlemeler yapılmaktadır. İşverenler, elli veya daha fazla işçi çalıştırdıkları özel sektör işyerlerinde yüzde üç özürlü, kamu işyerlerinde ise yüzde dört özürlü ve yüzde iki eski hükümlü işçiyi meslek, beden ve ruhi durumlarına uygun işlerde çalıştırmakla yükümlüdürler. Aynı il sınırları içinde birden fazla işyeri bulunan işverenin bu kapsamda çalıştırmakla yükümlü olduğu işçi sayısı, toplam işçi sayısına göre hesaplanır. Engellilerin çalışma hayatına daha fazla girmeleri, iş yerlerine ulaşım imkânlarının sağlanmasıyla olacaktır. Büyük şehirlerde toplu ulaşım araçlarında engelliler için özel ekipmanların bulunmasına rağmen, yeterli olduğu söylenemez. Engelliler içinde trafikte güvenlik kurallarını tehlikeye sokmayacak, hızlı ve özel donanımlı araçlara ihtiyaç vardır.

Günümüzde dünya enerji gereksinimi büyük oranda fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Ancak fosil yakıtların yakın bir gelecekte tükenecek olması, toplumlar üzerinde siyasal ve ekonomik baskılar yaratmaktadır. Ayrıca fosil yakıtların yanma ürünü olarak açığa çıkan COX, NOX, SOX gibi gazların atmosferdeki miktarının artması; asit yağmurlarına, ozon tabakasının zarar görmesine, sera etkisinin ve atmosferdeki uçucu organik bileşiklerin miktarının artmasına sebep olmaktadır. Bu durum son zamanlarda artan çevresel kaygılarla fosil yakıt kullanımına karşı bir kamuoyu oluşmasına neden olmuştur. Dünyada fosil yakıtlı otomobillerin küresel CO2 salınımına etkisinin %12 ve ulaşım sektörünün küresel CO2 salınımına etkisi %16 olmasından dolayı otomobiller çözümün bir parçası olmak zorundadır. Bu durumda %100 elektrikli araç kullanım nedenlerini kısaca şu şekilde sıralanabiliriz [1,2]:

- CO2 yaymazlar, çevreyi kirletmezler ve motor gürültüsü neredeyse yoktur,
- Araç tasarımı ve güç aktarma sistemlerinde köklü bir değişim öngörüyor,
- Lityum iyon pil teknolojisi menzil ve güvenlik yönünden sürekli gelişmektedir.
- Aylık yakıt (elektrik) gideri dizel yakıttan çok daha düşüktür
- Bakım giderleri çok daha azdır.
- 6.Aküleri şarj etmek için kullanılacak elektrik akımı; rüzgar ve güneş enerjisinden kolaylıkla sağlanabilir.

Elektrikli otomobilin içten yanmalı motorlardan farklı kılan parçaları sıraladığımızda:

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

- Piller
- Elektrik motoru
- Akü şarj ünitesi
- Hız kontrol ünitesi olduğu görülür.

Elektrikli araç teknolojisindeki en önemli çalışma alanı kullanılan pillerdir. Son yirmi yıldır piyasada kullanılan Lityum temelli piller küçük enerji gereksinimlerinde etkinken güvenlik problemleri ve şarj süreleri elektrikli araçlar için beklentileri karşılayabilir düzeyde değildir. Lityum pillerdeki elektrokimyasal reaksiyonlar, katotta kullanılan alaşımın arasına lityumun girip çıkmasına dayanmaktadır. Ancak lityumun kristal yapının arasına girip çıkma işlemi yapıda zamanla deformasyona sebep olmaktadır [3,4]. Sorunları çözüp uygulama değeri olan bir pil sistemi geliştirmek için temel sorunları aşmaya yönelik çalışmalar, tüm dünyada devam etmektedir. Yakıt pili teknolojisinin araçlarda uygulanması, gelecekte birincil enerji kaynaklarının fosil yakıtlardan alternatif yakıtlara doğru değişimi ile hızlanacaktır. Ancak mevcut altyapı ve alışkanlıklar çerçevesinde yakıt pili araçlara geçiş 2010'lu yıllara değin düşük bir ivme ile seyredecektir. Üreticilerin gelecekte beklentileri ise, hidrojen kullanımın yaygınlaşması, alternatif enerji kaynaklarının kullanımın kolay ulaşabilir hale gelmesi, uzun ömürlü yakıt pillerinin üretimidir [5].

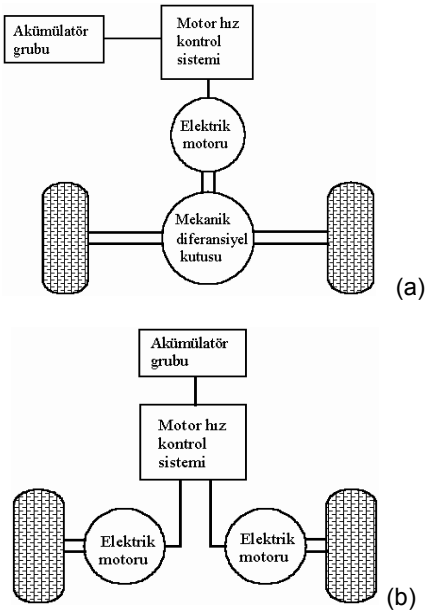
2. Elektrikli Araçların Yapısı

Bir elektrikli otomobilin tahrik sistemi temel olarak elektrik enerjisi kaynağı, elektrik motoru ve kontrol sisteminden oluşmaktadır. Elektrikli otomobiller, atık gazlar oluşturmamaları ve motor yağı kullanmaması sonucu çevre dostu olmalarının yanında bir mekanik vites kutusuna ihtiyaç duymamaları, frenleme esnasında enerjiyi geri kazanabilmeleri, sessiz çalışmaları gibi özellikleri ile klasik içten yanmalı motorlara sahip otomobillere karşı önemli avantajlar sağlamaktadırlar. Ancak kullanılan akümülatörlerin ağır, hantal, kapasitelerinin sınırlı ve dolum sürelerinin oldukça uzun olması, aynı şekilde elektrik motorlarının da güç/ağırlık ve güç/hacim oranlarının kötü olmasından dolayı bu gün için benzinli otomobillerin yerini tam olarak alamamaktadır. Elektrikli otomobiller için farklı tahrik düzenleri ortaya atılmıştır. Bunlar tamamen elektrik enerjisi ile hareket eden sistemler ve elektrik enerjisi ile içten yanmalı motorların birlikte kullanıldığı karma sistemlerdir. Şekil 1 de elektrikli araçlarda kullanılan motor-tekerlek bağlantı biçimleri görülmektedir [6].

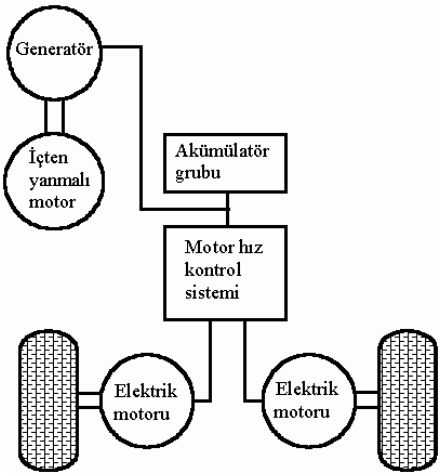
Paralel olarak çalışan elektrik motoru ve içten yanmalı motor, taşıtın mekanik güç hattına aynı anda ve sürekli olarak bağlıdırlar. Duruma göre biri veya diğeri taşıtı hareket ettirmektedir. Bu seçim, yol şartlarının değişmesi (sıkışık trafik veya otoban), akümülatörlerin tamamen boşalması veya yakıtın tükenmesi gibi hallerde en uygun çalışmayı sağlamak amacıyla veya zorunluluklar sonucu yapılabilir. Blok şeması Şekil 2'de gösterilen bu tahrik sistemi "paralel karma sistem" olarak adlandırılmaktadır.

3. Engelliler İçin Elektrikli Araç Modelleri

Özellikle ortopedik engeli bulunan ve çalışma hayatında başarılı işler yapan çok sayıda insan bulunmaktadır. Bu insanların işlerine kolaylıkla gidebilmeleri, günlük hayatlarını sürdürebilmeleri ve toplumdan kopmadan bağımsız yaşayabilmeleri için farklı tip araç modelleri şu ana kadar geliştirilmiştir. Şekil 3' de çok kullanılan engelli araç modelleri gösterilmektedir.



Şekil 1. Elektrik motoru yerleşim şekilleri (a) Tek motorlu (b) İki motorlu sistem



Şekil 2. İçten yanmalı-elektrik motoru paralel karma sistem

Şekil 3'deki engelli araç modelleri incelendiğinde, bazılarının doğrudan engelliler için özel üretildiği, bazı modellerin ise sonradan yapılan özel eklemelerle kullanıma uygun hale getirildiği görülmektedir.

3.1. Engelli Aracı Kontrol Donanımları

Şekil 4, 5 ve 6' da olması muhtemel uzuv kaybı sonrasında oluşabilecek engelli durumdaki insanların kullanmaları için, araçlar üzerinde yapılan bazı özel düzenlemeler görülmektedir. Bu düzenlemeler sayesinde bazı engelli grupları, ilgili aracı rahatlıkla kullanarak, özel bir araç almak gereği duymamaktadırlar.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Şekil 3. Engelliler için tasarlanmış elektrik araç modelleri

Şekil 4. Elle kontrol edilen gaz-fren sistemi

Şekil 5. Gaz kontrol çemberi

Şekil 6. Sol ayakla gaz kontrolü

3.2. Engelli Aracı Erişim Donanımları

Tekerlekli sandalye kullanmak zorunda kalan ve kendi başına yürüyemeyen engellilerin araç içerisine yerleşebilmeleri en büyük sorunlardan biridir. Şekil 7'de bazı araç içine erişim düzenekleri görülmektedir.

4. Engelli Aracı Tasarımı

4857 sayılı iş kanunumuzun 30. Maddesine göre elli veya daha fazla işçi çalıştıran özel sektöre ait işyerlerinde toplam çalışan sayısının % 3' ü oranında, kamuya ait iş yerlerinde ise %4 ü oranında engelli insanımızı işe almakla yükümlüdürler. Dolayısıyla çalışma hayatında en fazla bulunan, yaklaşık sayısı 322.000 kişiyi bulan ortopedik engelli vatandaşlarımızın iş yerlerine gidebilmelerini kolaylaştıracak araçların ve donanımların tasarımı önemli bir hal almaktadır. Tablo 1' de Türkiye'deki engelli insanların yaş aralıkları görülmektedir. Buna göre 18-60 yaş aralığında çalışma verimi ve topluma hizmet edebilme becerisi olan büyük bir topluluk olduğu görülmektedir.

(a)

(b)

(c)

(d)

Şekil 7. Araç erişim sistemleri (a) Koltuk transfer sistemi (b) Araç arka çıkış rampası (c) Araç yan giriş rampası (d) Hidrolik lift sistemi

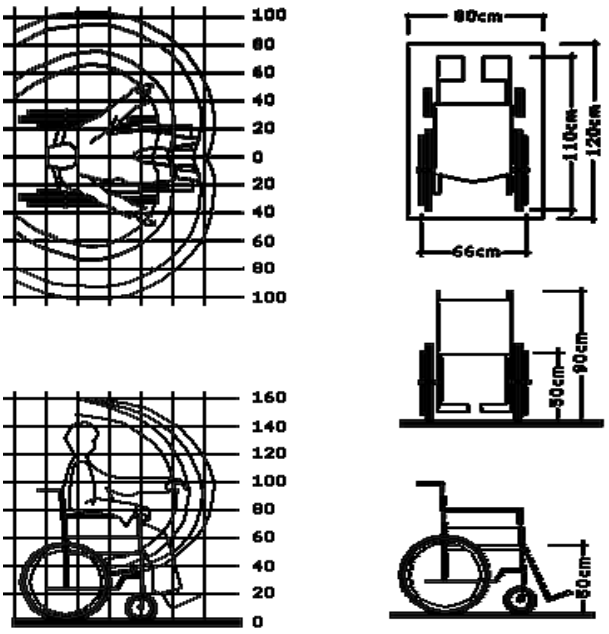
Gerek yasal düzenlemelerle ve gerekse toplumsal hassasiyetiz neticesinde engellilerin toplum içerisinde rahat hareketini sağlamak, ekonomik özgürlüklerini kullanabilmelerini engellememiz gerekmektedir. Bu nedenle engelliler için özel araçlar, donanımlar ve toplu ulaşımda kolaylıklar sağlanmalıdır.

Tablo 1. Türkiye'de engelli nüfusun, engel durumu ve yaş aralıkları

	Toplam ozurlu nufus Total disabled population			Ortopedik, gorme, işitme, dil ve konuşma ve zihinsel ozurlu nufus Orthopedically seeing hearing speaking and mentally disabled population		
	A	B	C	A	B	C
Turkiye-Turkey	12.29	11.10	13.45	2.58	3.05	2.12
Yaş grubu Age group						
0-9	4.15	4.69	3.56	1.54	1.70	1.37
10-19	4.63	4.98	4.28	1.96	2.26	1.65
20-29	7.30	7.59	7.04	2.50	3.34	1.74
30-39	11.44	10.43	12.42	2.56	3.18	1.95
40-49	18.07	15.15	21.08	2.65	3.29	1.99
50-59	27.67	22.56	32.67	3.23	3.73	2.74
60-69	36.96	31.60	42.02	5.14	5.65	4.65
70+	43.99	39.77	47.77	7.89	8.45	7.[illegible]

4.1. Tekerlekli Sandalye Ölçü ve Standartları

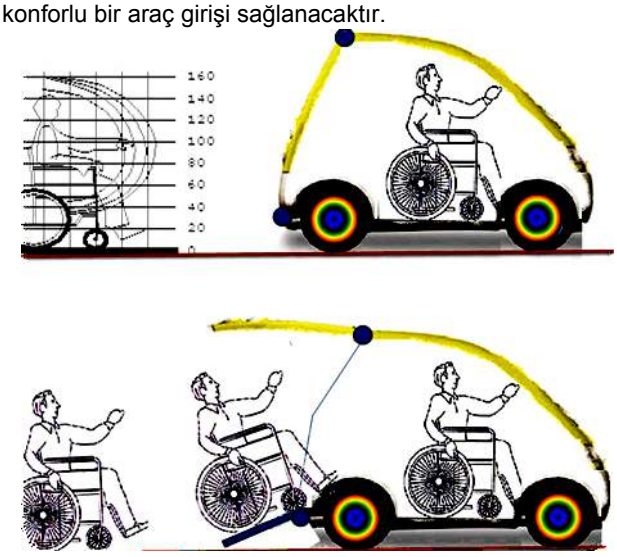
Tekerlekli sandalyeler; fiziksel bir rahatsızlık ya da engel nedeniyle yürüyemeyen veya kolayca hareket edemeyen kişilerin hareketi için kullanılan bir araçlardır. Çeşitli ölçülerde tekerleklere sahiptir. Genelde ellerle kullanılır ama özel ihtiyaçlara göre vücudun neredeyse her yeriyle kullanılabilecek çözümleri de barındırabilir. Hareket açısından akülü ve manuel olarak iki çeşidi bulunur. Her ölçüye ve her türlü ihtiyaca göre özel olarak tasarlanabilir. Kontrolü kullanıcısında olabildiği gibi, refakatçisinde olan seçenekleri de mevcuttur. Kullanıcılar ihtiyaçlarına göre büyüklük ve güç tercihinde bulunurlar. Dar mekanlarda kullanılacaksa kompakt yapıda olması tercih edilebilirken, arazi koşullarında kullanılacaksa gücü ve dayanıklılığı ön plana çıkmaktadır. Bedensel engelliler için öngörülen standartlarda, tekerlekli sandalye boyutları, tekerlekli sandalyenin hareket etmesi için gerekli alan ve tekerlekli sandalyede oturan bir insanın uzanma mesafeleri Şekil 8' de görülmektedir.



Şekil 8. Tekerlekli sandalye ölçüleri

4.2. Tasarlanan Araç Modeli

İçerisine tekerlekli sandalye ile doğrudan girilebilen araç modellerinin dünyada farklı uygulamaları bulunmaktadır. Bu çalışmada tasarladığımız araç modeli, arka giriş kapısı çift kırma yöntemiyle, yarısı yukarı diğer yarısı aşağı açılacak şekilde düşünülmüştür. Arka kapının alt kısmında kalan bölümü üzerine sandalye çıkış destekleme sistemi yerleştirilerek, rampa üzerinde araca binişi destekleme ve kolaylaştırma hedeflenmiştir. Aynı zamanda araç kapısının alt yarısının rampa-kapı olarak kullanmanın getirdiği avantajla, diğer araç modellerinde görülen rampa geri toplama sistemine de gerek kalmamaktadır. Tasarlanacak aracın arka kapısı açılarak tekerlekli sandalyesi ile engellinin içeriye girmesi sağlanacak ve içeride güvenlik önlemleri (emniyet kemeri, vb.) alınarak araç yönetim ve kontrol ünitesi yardımıyla sürülmesi sağlanacaktır. Şehir içindeki gidiş gelişlerin çok uzun mesafelere olmayacağı kabulünden yola çıkılarak otomobili elektrikli yapmak hedeflenecektir. Böylece benzin ve/veya mazot masrafı olmadığından, daha ekonomik ve çevreci bir araç ile ülkemizin cari açık tehdidinin azalmasına da katkı sağlanacaktır. Şekil 9' da tasarlanan özel çıkış destek rampalı aracın şematik resmi görülmektedir. Çıkış rampası üzerinde yerleşecek olan destek sistemi, bantlı taşıyıcı prensibiyle hareket edecektir. Rampanın başlangıcında bulunan tekerlekli sandalye, araç içerisine düşük hızlı bir yürüyüş bandı hareketiyle çekilecektir. Bu sayede engelli insanın rampayı çıkmak için harcayacağı güç azalacak, konforlu bir araç girişi sağlanacaktır.



Şekil 9. Tasarlanan çıkış destek sistemli araç modeli

5. Sonuç

Bu çalışmada, engelliler için geliştirilen özel elektrikli araç modellerinin yapısı incelenmiştir. Engelli araçlarında bulunması gereken özel donanımlar ve farklılıklar gösterilmiştir. Geliştirilen bir arka çift kapılı açılım sistemi ve rampa çekiş sistemiyle desteklenen yeni araç modeli, engelliler için daha kolay bir kullanım, konforlu sürüş ve araca giriş esnasında yaşanabilecek kaza oluşumlarını azaltılacak bir sistemle tasarlanmıştır. Bu tip araçlara dünyada ve Türkiye'de yoğun ilgi ve ihtiyaç vardır. Uygun fiyatlı yapılan bir üretim sonucunda engelli insanlarımız için mutluluk verici, güvenli, hızlı ve konforlu ulaşım sağlanabilir.

Kaynaklar

[1] Kasap N., Türkiye Elektrikli Araçlar Forumu, EMO, 2010.
[2] Mazman, M., Ulaşımda enerji verimliliği için batarya teknolojileri, II. Enerji Verimliliği Toplantısı, 9-11 Nisan, TÜBİTAK UME, 2009.
[3] Linden, D., Reddy, T.B. Handbook of Batteries, McGrawHill Handbooks, 3rd Edition, 2001.
[4] Mizushima, K., Jones, P.C., Wiseman, P.J., Goodenough, J.B., Mat. Res. Bull, 1980.
[5] Ünlü N., Karahan Ş., Tür O., Elektrikli araçlar, Tübitak MAM, Enerji Sistemleri ve Çevre Araş. Enstitüsü, 2003.
[6] http://triton.elk.itu.edu.tr/azzmi/elektrikli%20otomobil.html

DESIGN AND OPTIMISATION OF A POWER-OPERATED VERTICAL LIFTING PLATFORM FOR PERSONS WITH IMPAIRED MOBILITY

Ahmet CAN
University of Necmettin Erbakan, Engineering Fac. Department of Industrial Design,
Konya, Turkey, E-mail: ahmetcan@konya.edu.tr

Abstract

One of the major problems faced by impaired mobility persons is the stairs in the entrance of the buildings. For overcoming these obstacles different carriers designed and manufactured. These carriers may also be classified by direction of moving, such as vertical, inclined or mobil carriers. The inclined platforms for seated, standing and wheel chair users can be manufactured by compatible to stairs like straight, cascaded, helical etc. Vertical platforms are designed and manufactured with a constant travel distance or specially for desired building. Vertical platforms may also be classified by the types of power and mechanism, such as trapezoidal screw-nut, hydraulic (direct-indirect) rack-pinion gear, rope and drum, chain drive and scissor type etc. Rules for safety, dimensions and functional operation standards for these machines are defined in TSE-ISO 9386-1. In this work a design study is given for a vertical screw-nut driven platform for using outdoor places which is appropriate for defined standards. A real time optimization process is described for minimizing the weight of system and costs. In the optimization process; suitable manufacturing parameters are taken into account while material and dimensional optimization is applied for obtaining the allowed factor of safety (FOS). So the higher cost materials are nested with focusing the design and so wastage material are minimized.

Keywords: Vertical lifting Platform, Design Optimization, TSE-ISO 9386-1, nesting.

1. Introduction

One of the major problems faced by impaired mobility persons is the stairs in the entrance of the buildings. Especially wheelchair user cannot enter the building with themselves because of the stairs which height is 2-3 meters. In a social responsibility, these solutions became an obligation for the aim of the wheel chair user or disabled persons are part of our daily life. The solutions for entering buildings for wheelchair user and impaired mobility persons are building a ramp, vertical platform, inclined platform and mobil carriers. The platforms classified by direction of moving, such as vertical, inclined or mobil carriers. These are very slow motion machines (less than 0.15 m/s) and are not included the elevator class. Rules for safety, dimensions and functional operation standards for these machines are defined in TSE-ISO 9386-1 [1-3] . A design study is given for a vertical screw-nut driven platform for using outdoor places which is appropriate for defined standards. A real time optimization case study process is described for minimizing the weight of system and wastage materials. In the optimization process; suitable manufacturing parameters are taken into account while material and dimensional optimization is applied for obtaining the allowed factor of safety (FOS).

Optimization techniques play an important role in structural design, the very purpose of which is to find the best ways so that a designer or a decision maker can derive a maximum benefit from the available resources. The best design could be in terms of minimum cost, minimum weight or maximum performance or a combination of these. Especially the dimensional and geometrical optimization is very important in aerospace parts. The design and manufacturing of lighter and tougher parts are very important for oil consumption and production costs. So, the design characterization of the aerospace parts very important [4]. The feature of the optimal design is that it consists of only logical decisions. In making a logical decision, one sets out the constraints and then minimizes or maximizes the objective function (which could be either cost, weight or merit function). The basic idea behind intuitive or indirect design in engineering is the memory of past experiences, subconscious motives, incomplete logical processes, random selections or sometimes mere superstition. This, in general, will not lead to the best design [5-7].

2. Basic design of the vertical platform

Vertical platforms are designed and manufactured with a constant travel distance for desired building. Vertical platforms may also be classified by the types of power and mechanism, such as trapezoidal screw-nut, hydraulic (direct-indirect) rack-pinion gear, rope and drum, chain drive and scissor type etc. These are very slow motion machines (less than 0.15 m/s) and are not included the elevator class. Rules for safety, dimensions and functional operation standards for these machines are defined in TSE-ISO 9386-1 [1]. In this work a trapezoidal screw-nut mechanism is designed. In first stage a basic design is obtained. In second stage the main two parts of the platform is optimized. Belt-pulley mechanism is used for decreasing the motor speed. A frequency converter unit is used for adjusting the travel speed and soft-start and soft stop. The building application, basic design of the mechanism and the exploded views are depicted in Fig 1a-b-c respectively. The main specifications of the vertical lifting platform are given in Table 1.

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

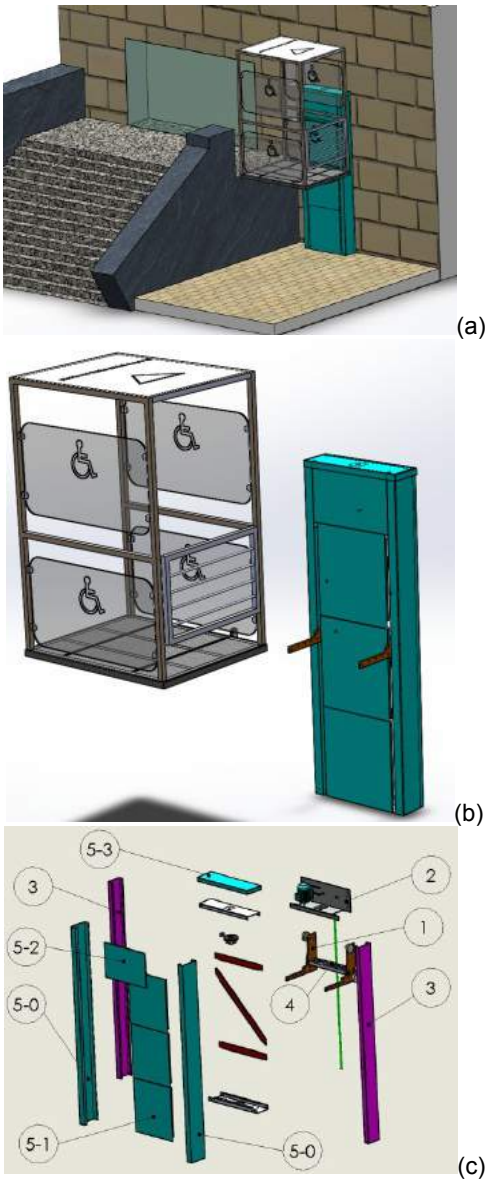


Fig. 1. (a) The building application (b) Basic design of the mechanism (c) The exploded view of design

Table 1. Specification of the vertical lifting platform.

Use	For Disabled-Outdoor
Travel Distance	Up to 2 m
Travel Speed	2 m/min
Loading Capacity	300 Kg
Number of Stops	2
Usable Platform Sizes	1100x1400 mm
Drive	Trapezoidal screw-nut
Power Supply	220 V (1.1 kW main Motor)
Travel and speed Control	Soft Start-stop Frequency control with Driver
Control	24V With Dead- man buttons
Color	Paint in RAL Colors Stainless Steel sheet Cladding Indoor-AISI430 Outdoor: AISI 304

3. Optimization of the design

In this stage the main two part of the basic design is optimized. The optimization process is handled by two stages; for obtaining a strapless cutting (Nesting) and optimal design for obtaining a desired Factor of Safety (FOS) as depicted in ISO-9386-1. Nesting refers to the process of efficiently manufacturing parts from flat raw material such as cloth, glass, hardboard, paper and sheet metal etc. Companies manufacturing parts from flat raw material such as sheet metal use a variety of technologies to perform this task. Material may be cut using off-line blanking dies, lasers, plasma, punches, shear blades, ultrasonic knives and even water jet cutters. In order to minimize the amount of scrap raw material produced by this process, companies use nesting software. Using proprietary algorithms, it then determines how to lay these parts out in such a way as to produce the required quantities of parts, while minimizing the amount of raw material wasted [8]. In this work the lay is determined manually, because of the dimensions of the parts can be changed. All nesting algorithms use the net shape and dimensions of the parts. The changing of the flexible dimensions of the design causes a suitable placing on the sheet and so decreases the waste material ratio. The critical dimensions of the parts which effects on the mechanical behaviors are determined with Strain analysis with Finite Elements Method. The higher Factor of Safety (FOS) causes a heavy construction and the smaller FOS causes a lighter construction but no safety part may causes damage while using the platforms. So reaching the suitable FOS is very important for optimum weight of the system and optimum safety factor. The mechanical simulations of the parts with FEA are performed with Solid Works Simulation.

3.1.1. Optimization-I. Platform Carrier

Platform carrier is designed as a sub assembly. The main function of this part is transferring the movement from brass nut to the platform. It has four wheel and 2 bridge part from 40x60x2 rectangular tube and two nut cover. The sub assembly of the carrier is depicted in Fig 2.

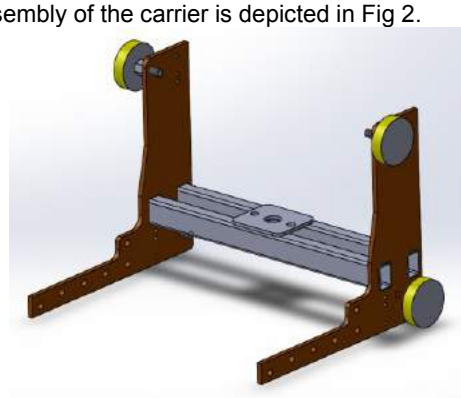


Fig. 2. The platform carrier design

The desired FOS is minimum 3 for these parts. The design of the loaded thin parts are beginned with 12mm ST-52 material. The FEM analisys is given in Fig 3.

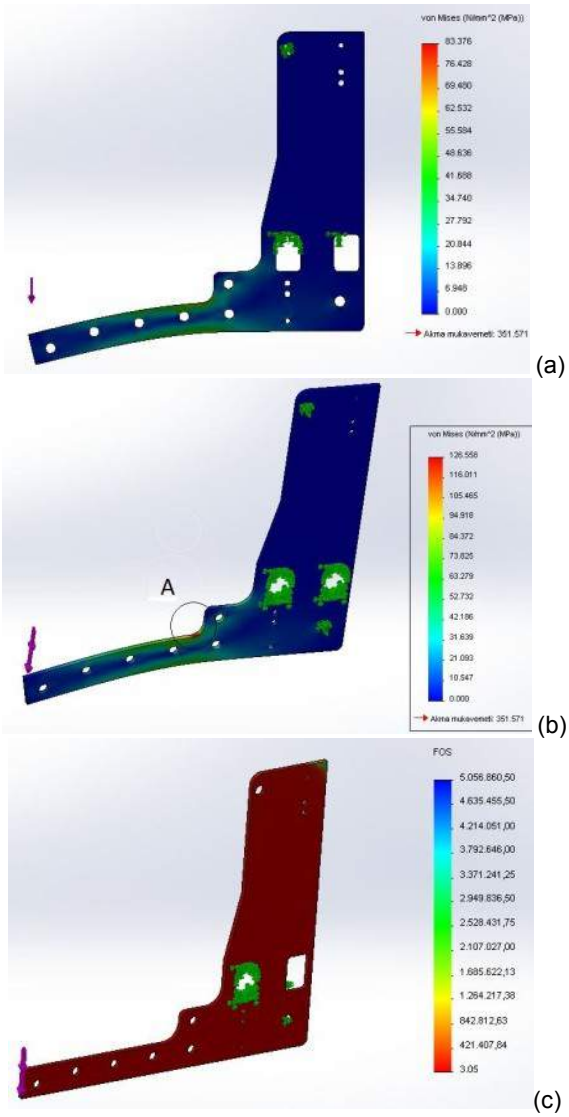


Fig. 3. The FEM analysis of the carrier part.

The material properties, constraints and applied loads are defined and firstly the 12 mm thickness part is analyzed. Fig 3(a) depicts the stress distribution by using the Von-Misses yield criteria. The FOS is calculated as 4.2 for 12mm thickness. For the aim of decreasing the FOS value the thickness of the part is decreased to 10 mm. Then the FOS value is decreased to 3.47. For the reason of absence of 9 mm ST-52 mm sheets the part thickness is decreased to 8 mm. the FOS value is determined as 2,78. As can be seen in Fig 3 (b) on the (region A) the deformed region under FOS-3 is a smaller corner region. If we could prevent the stress intensity on this corner the FOS value may be increases to 3 or higher. Then the radius of the corner is decreased from 20 to 40 mm and the FEM analysis is repeated. Figure 3(c) shows the FOS distribution on the part. The thickness and dimensional optimization is realized by reached the minimum FOS value 3.05. This thickness optimization is decreased the weight of the part nearly 33% from 9.6 Kg to 6.36 Kg.

In second stage the manufacturing optimization is realized on focusing of wasteless cutting (nesting) with a suitable laying the parts on the sheet. The laser cutting will be used for manufacturing this part. So 100x200, 125x250 and 150x300 cm 8mm thickness sheets are taken into account. In Fig 4(a) a simple laying is applied with two parts. This result is the simplest solution could be given from a sample nesting software. The internal waste ratio is %37 for this situation. For using this internal waste the other same thickness part are placed in this area. This placing is depicted in Fig 4 (b). In this situation as depicted in Fig 4(c) two obstacle which causes placing problem is observed. These obstacles cause a placing problem and increase the waste ratio. So an optimization is applied for these regions. The arm in the region-A may be shortening 56mm and the dimension 550 may decreased to 500 mm for obtaining a 500x500 square placing area. These changes do not cause a mechanical or any other problem in the system. So these placing sets can be placed to 100x200 and 150x300 sheets with zero outer wastes. In Fig. 4(e) these lay schema is depicted. In this situation the waste is determined as 6% in internal region.

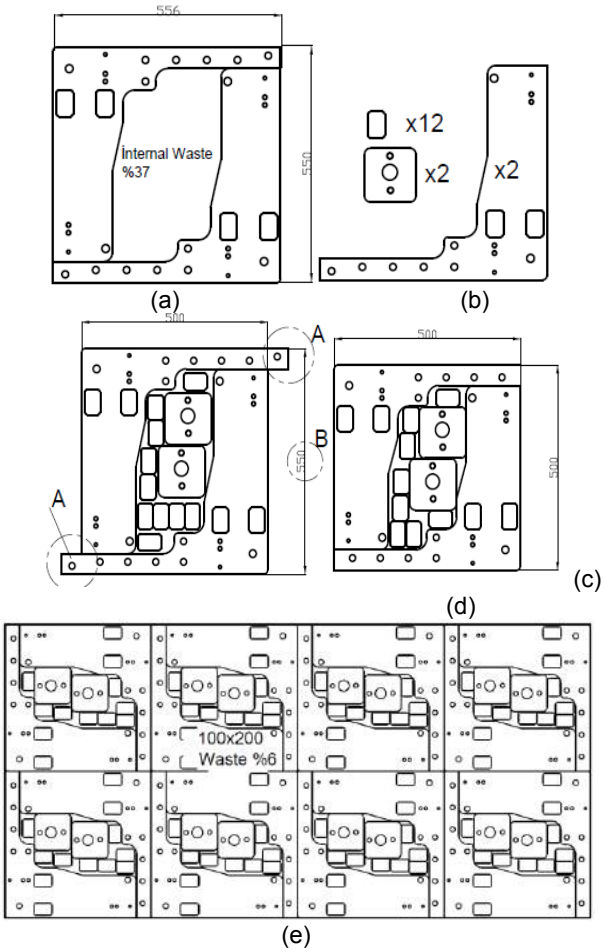
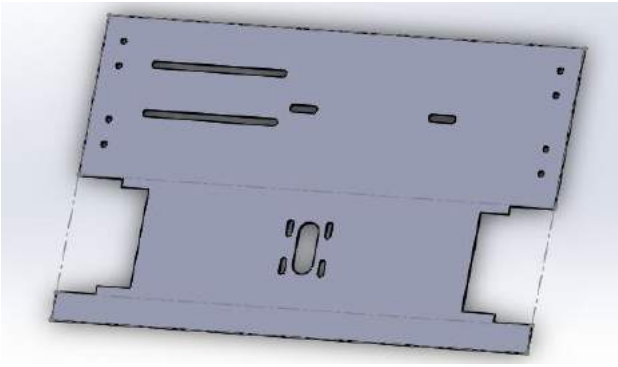


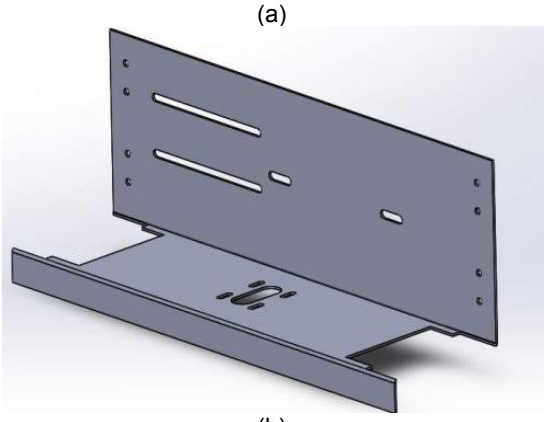
Fig. 4. The sample placing

3.1.2. Optimization-II. Motor-Pulley Bridge

This part is carrying the 1.1 kW electrical motor and the UCF206 bearing which is mounted at the end of the trapezoidal screw by a pulley. This system and this part was depicted in Fig. 1(c) with part number 2. The detail of the part is given in Fig. 5 (a,b).



(a)



(b)

Fig. 5 Motor-Pulley Bridge (a) Flatten (b) Bended

This sheet metal is designed with 4 mm thickness. In the working conditions this part is loaded with 500kg. In the optimization of this part firstly the placing is taken into account then the FEM analysis is applied for determining the thickness of the sheets. These parts will be machined with laser cutting then the corner bends will be bended with a Press Brake. The alternative placing of the sheets are given in Fig. 6.

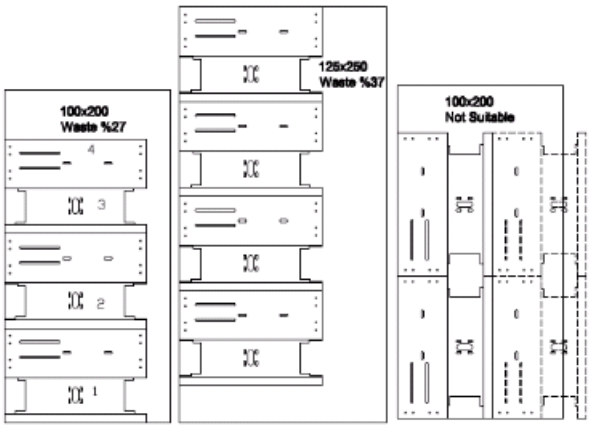
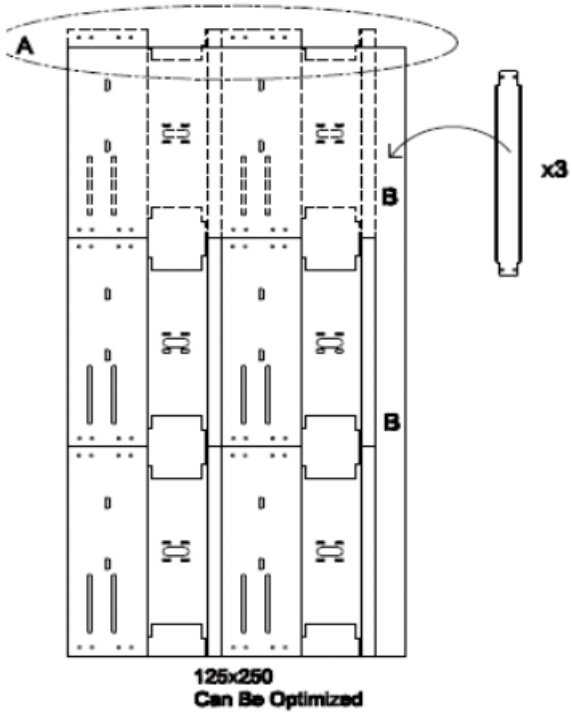
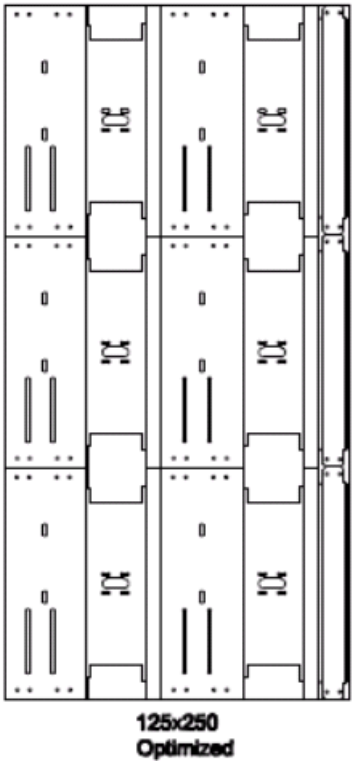


Fig. 6. The alternative placing of the sheets

Firstly 100x200 cm sheet are examined but suitable laying is not determined for horizontal and vertical placing (Fig 6 a-c). The waste ratio is 37% for 125x250 sheets for horizontal placing. A suitable solution is determined on 125x250 sheets by vertical placing. But this placing needs a little change on the dimensions. This placing is depicted in figured 7-a. In the region-A 25 mm shortening the length will give an optimal solution. In this placing schema there is 13 cm waste at the end of the sheet (region-B). It can be seen in Fig. 7-b on region-B. A mounting part for anchoring the system to the wall and connecting the rail with each other is placed to this waste area. Three parts was inserted to this region. And the optimized solution is given in Fig 7(b). As a result of this optimization the waste ratio is %9 for internal region.



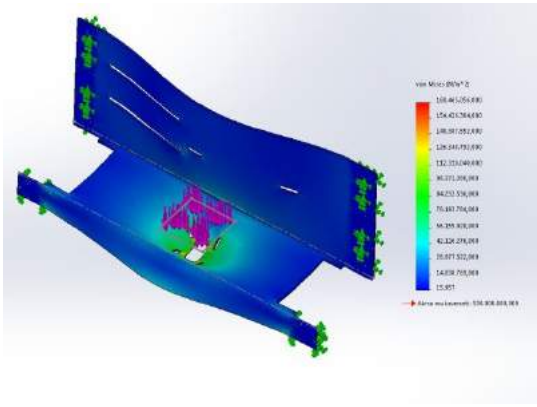
(a)



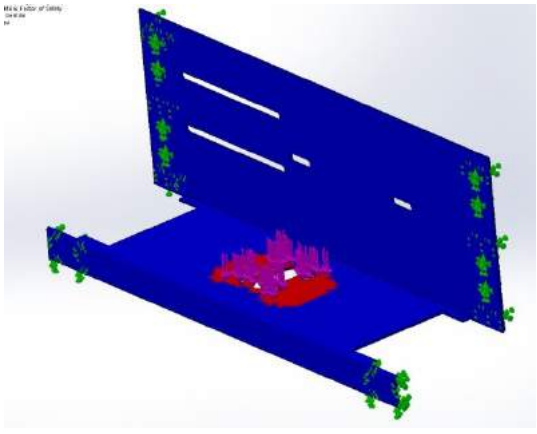
(b)

Fig. 7. Suitable and Optimised nesting

In the second stage of optimization for this sheet metal part the FEA is applied for determining the FOS value. The fixture conditions, material properties and applied load are defined for 4 mm sheet thickness for beginning. Fig. 8 (a) shows the stress distribution for 4 mm thickness with a higher (x160) deformation scale. Fig. 8(b) shows the FOS<3 region. The FOS value is calculated as 2,2. Than the thickness was increased to 5 mm and the FOS value is calculated as 2,73. After the sheet thickness was increased to 6 mm then the FOS=3.15 is obtained.



(a)



(b)

Fig. 8. The FEA analysis of the motor-pulley bridge part

4. Conclusions

In this work a design and optimization study is given for a vertical screw-nut driven platform for using outdoor places which is appropriate for defined standards ISO 9386-1. A real time optimization process is described for minimizing the weight of system, the waste ration and costs. In the optimization process; suitable manufacturing parameters are taken into account while material and dimensional optimization is applied for obtaining the allowed factor of safety (FOS). So the higher cost materials such as sheets are nested with focusing the design and so wastage material are minimized. In first stage a basic design is obtained. Then the FEM strain analysis is applied for the main parts of the platform. In first part the real time optimization with FEA is decreased part weight to %33. The geometrical and dimensional analysis-reconstruction for placing the part on sheets is decreased the waste from 37% to 6%. In second part the reconstruction of the dimensions is decreased to waste ration from 27% to 6%. And the other hand the FOS value is decreased from 2.2 to 3,15. As a result of these optimization shows that the optimal designs could be reached by serious optimization techniques. In optimization process the manufacturing details is very important for a manufacturing with minimal waste and cost. On the other hand the reliability of the system especially where the human health factor is foreground is very important. The optimal factor of safety is the most important factor for determining the part dimensions. The using of higher FOS than optimal values causes a heavier parts and so costs. Conversely using a lower FOS then optimal value may cause a sudden damage and some accident.

References

[1] ISO9386-1:Power-operated lifting platforms for persons with impaired mobility -- Rules for safety, dimensions and functional operation - Part 1: Vertical lifting platforms

[2] ALPIN Z300, Vertical platform lift, manuel and installation guides. Lehnerlifttechnic GMBH, Germany, 2013.

[3] Vefra DP-100 Vertical platform lift, manuel and installation guides. Vefra LTD, Turkey 2013.

[4] Katarya, R., Optimization of multi-cellur wings under Strength and vibrational constraints for simple loading, M.Tech thesis, IIT Kanpur ,1973.

[5] Iyengar, N.G.R. and Gupta, S.K., Structural design Optimization, Affiliated East west press Ltd. New Delhi, 1997.

[6] Rao, S.S. Engineering Optimization: Theory and Practice, Wiley, 2009.

[7] The CRC mechanical Engineering Hand Book, CRC press, Washington,2005.

[8] John, S., "Nested Sampling for General Bayesian Computation". Bayesian Analysis 1 (4): 833–860 (2006).

AHŞAP YEL DEĞİRMENİNİN TASARIMI ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A RESEARCH ON THE DESIGN OF WOOD WINDMILLS

Yasin DÖNMEZ [a], Hüseyin YÖRÜR [b] ve Şeref KURT [c]
[a, b, c] Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye,
E-posta: yasindonmez@karabuk.edu.tr; huseyinyorur@karabuk.edu.tr; skurt@karabuk.edu.tr

Özet

Yaşam alanlarının planlanmasının bir parçası olan yapısal elemanlar, sosyo-kültürel özellikler ile doğal faktörler sonucu şekillenmektedir. Kentlerde görsel çevrenin kalitesinin arttırılması ve daha yaşanabilir mekânlar oluşturulmasında, canlı malzemeler olan bitkiler kadar cansız malzemelerden de yararlanmaktadırlar. Yel değirmenleri eskiden günümüze kadar değişik fonksiyonel özellikleri ile karşımıza çıkmaktadır. Rüzgardan aldığı gücü enerjiye çevirerek, farklı alanlarda insanlara hizmet etmiştir. Günümüzde ise halen farklı sektörlerde kullanılmaya devam edilmektedir. Bu çalışmada 20 mt.lik ahşap yel değirmenin tasarlanması, görsel ve mekansal olarak kullanılması konusunda öneriler getirilecektir.

Anahtar kelimeler: Yel değirmeni, yel değirmeni tasarımı, Ahşap malzeme

Abstract

Planing of living area, which is part of the structural elements are shaped by socio-cultural characteristics and natural factors. In urban areas, Improving the quality of the visual environment and in the creation of more livable environments, live materials which are plants that benefit from non-living materials so. Windmills used to emerges with different functional properties until today. Receiving power from wind turning energy, it served to people in different areas. Today, it is still continued to be used in different sectors. In this study of 20 m height wooden windmill design, the suggestions will be bring how to use abaout visual and spatial.

Keywords: Windmill, windmill design, wood material

1.Giriş

Kent, mekânların oluşturduğu bir bütündür. Mekân içinde tasarlanan, özgünleştirilen donatı elamanları mekânı düzenlerken aynı zamanda kent içindeki donatı alanları için de bir sistematik oluşturmalıdır. Kent kalitesi ve kimliği üzerinde etkisi olan kamusal dış mekânların taşıdıkları anlam ve rol, sahip oldukları organizasyon, tasarım ve detay düzeyine bağlı olmaktadır Kentlerin kimliğinin bir parçası olan yapısal elemanlar sosyal ve kültürel özellikler ile doğal faktörler sonucu şekillenmektedir. Estetik algı kişiden kişiye değişmekle birlikte kültür ortaklığıyla kent kimliğinin bir parçası olan yapay elemanların şekillenmesinde rol oynar [1, 2, 3].

Mekâna katılan her nesnenin o mekânın var olan kimliğinin desteklenmesi veya yıpratılmasında rolü büyüktür. Bu nedenle mekâna eklenen her nesnenin mekânın barındırdığı fonksiyonları destekleyen nitelikleri kadar ortak dile hizmet etmesi bir zorunluluktur. Burada ki ortak dil mekânın estetik değerleri ile ürünün çatışmaması kadar ürünün o bölgenin ruhuna hizmet edecek nitelikte olmasıdır [4].

Çevre kimliği oluşumunda etkili olan simgesel özellikler, psikolojik etkiler, malzeme, doku ve renk öğeleri, donatılar, tanıtıcı öğeler, doğal dengeler ve buna benzer psikolojik ve biyolojik açıdan insana huzur ve mutluluk veren birçok eleman ve özellikler mekânların kalitesini artırmaktadırlar. Çevre kalitesinin artırılması ya da mekânsal standartların yükseltilmesine yönelik istem ve toplumsal baskıların oluşumu; doğrudan bilgi birikimi, ekonomik güç, sosyal ve kültürel kimlik gibi dengelerinin kurulmasına bağlıdır. Donatı elemanı tasarımı, üretimi, pazarlaması ve alana yerleştirilmek üzere seçiminde; çevre bilinci, görsel ve mimarî bütünlük, insancıl yaklaşımların yanı sıra; ekolojik farklılaşmaları tolere edecek malzeme kullanımı, toplumsal gereksinmeleri karşılamaya yönelik çok yönlü durum değerlendirmelerinin yapılması, uygulamanın başarısı için gerekmektedir [5, 6].

Ahşap malzemeler ve yapıların, eski çağlardan bu yana doğal bir yapı malzemesi olması nedeniyle doğaya uyumlu, geri dönüşümlü; malzeme, üretim- uygulama açılarından çevre kirliliği oluşturmayan ve insan sağlığına herhangi bir olumsuz etkisi olmadığı bilinmektedir. Doğru seçim yapıldığı ve iyi işleme tekniği uygulandığı taktirde ahşap dış mekan düzenlemelerinde çok geniş bir kullanım alanı gösterebilen bir yapı malzemesidir. Ahşabın dış mekan kentsel donatı elemanlarında tercih edilmesinin sebepleri şu şekilde ifade edilebilir:

- Ahşap, psikolojik olarak insana sıcak gelen, insanda sempati uyandıran bir malzemedir.
- Isıyı çok az iletmesinden dolayı ahşap malzeme temas halinde ekstrem duygulara (aşırı soğuk-aşırı sıcak) yol açmamaktadır.
- Kusurlu ahşap malzemenin yenisiyle kolayca değiştirilmesi mümkündür.
- Çarpma ve darbelerde çıkardığı gürültü, insanlar açısından genellikle rahatsız edici düzeyde olmamaktadır.
- Diğer malzemelerle karşılaştırıldığında yoğunluğuna göre direnç değerleri yüksektir.
- Çeşitli işlemlerle direnç değerleri ve sertliği arttırılabilir.
- Ahşap; değişik form, tekstür, strüktür, renk ve görünüşe sahip bir malzemedir.
- Ağaç malzeme, yağlı boya, vernik ve cila gibi maddelerle yüzey işlemleri uygulanmak suretiyle daha estetik bir hale getirilmeye müsaittir.

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

- Kullanımdan dolayı uğradığı eskime süreci boyunca koyu renk ve zengin görünüm kazanan başka bir materyal söz konusu değildir.
- Tutkal, çivi, vida ve cıvata ile birbiri ile veya diğer malzemelerle çeşitli şekillerde birleştirilebilir.
- Çeşitli aletlerle işlenmeye (kesme, rendeleme, delme, vs.) elverişlidir.
- Ahşap malzemenin paslanması söz konusu değildir; soğuk haldeki sulandırılmış asit ve bazlardan zarar görmez [7].

Kent mobilyaları işlevlerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir [8].

- Zemin kaplamaları (beton, taş, ahşap, asfalt, tuğla vb.)
- Oturma birimleri (banklar, sandalyeler, grup oturma elemanları)
- Aydınlatma elemanları (yol aydınlatıcıları, alan aydınlatıcıları)
- İşaret ve bilgi levhaları (yönlendiriciler, yer belirleyiciler, bilgi iletişim panoları)
- Sınırlandırıcılar (sınırlayıcılar, caydırıcılar, yaya bariyerleri, trafik bariyerleri)
- Su öğesi (süs havuzları, çeşmeler)
- Üst örtü öğeleri (duraklar, gölgelikler, pergolalar)
- Satış birimleri (kiosklar, sergi pavyonları, büfeler)
- Sanatsal objeler (heykeller, yel değirmenleri, su değirmenleri)
- Oyun alanı elemanları
- Diğer öğeler (çöp kutuları, çiçeklikler, bisiklet park yerleri, meydan saatleri, bitkisel öğeler, bayrak direkleri vb.)

Yel değirmenleri çok eski zamanlardan beri buğday öğütmek ve su pompalamak gibi, mekanik güç elde etmek amacıyla kullanılmıştır. Yel değirmenleri gelişen ülkelerde hala önemli güç kaynakları olmalarına rağmen endüstri bakımından gelişmiş ülkelerde az rolleri vardır. Elektrik 'enerji' kaynağı olarak kullanılan ilk yel değirmeni 1890'da Danimarka'da yapılmıştır. Bu tarihten sonra rüzgarla çalışan değirmenler küçük ev ve çiftliklere elektrik sağlamak için kullanılmışlardır [9, 10]. İlk yel değirmenlerinin 7. yüzyılda İran'da, daha sonraları Çin'de kullanıldıkları ve sonraları da Avrupa'ya yayılmıştır. yel değirmenleri ile ünlü ülke olan Hollanda'da bulunan yel değirmenleri, karayı denizden ayırmak için su pompalamakla görevlidir (Şekil 1). Hollanda, Almanya, Danimarka gibi özellikle Kuzey Avrupa ülkelerinde sık kullanılmıştır [9, 10].

Şekil 1. Yel Değirmeni [11]

Ahşap yel değirmenleri günümüzde peyzaj donatı elemanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Sahip olduğu fonksiyonlarının dışında yüksek boyu, sahip olduğu kanatları ile insanların ilgisini çekmektedirler. Bulundukları mekanları cazibe merkezi haline getirmektedirler.

2. Materyal ve Yöntem

Çalışmanın materyalini 20 mt. boyunda ahşap yel değirmeni oluşturmaktadır. Türkiye'de ahşap peyzaj donatı elemanlarının tasarımı ve imalatı konusunda birçok yerli ve yabancı şirket vardır. Özellikle yel değirmenlerinin tasarımı ve imalatı ile ilgilenen çok az sayıda şirket vardır. Kendileriyle yapılan görüşmelerde farklı ebatlarda tasarımları olduğu, 20 mt.lik tasarımlarının bulunmadığı tespit edilmiştir. Tasarım süreci aşağıdaki işlem sırasına göre yapılmıştır.

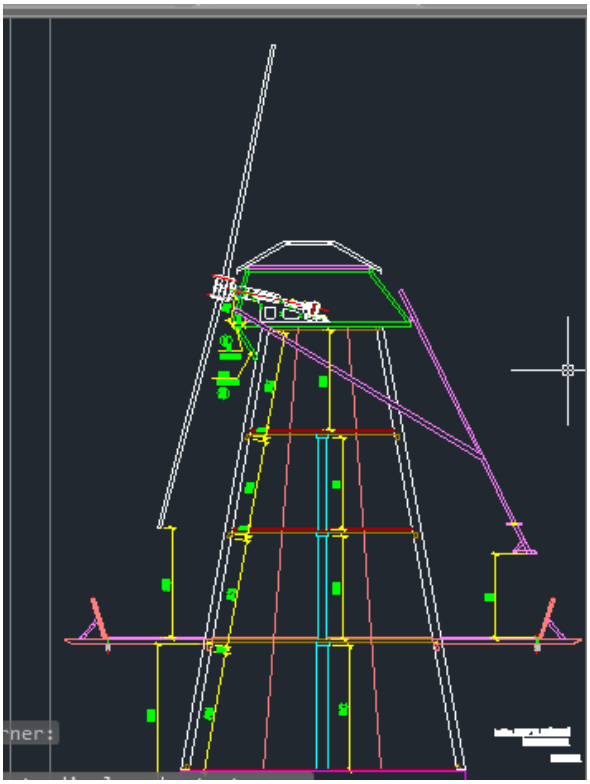
2.1. Ahşabın hazırlanmasında yapılacaklar

- Yapıda kullanılacak ahşap malzeme emprenye edilmeden önce nemi kontrol edilerek gerekli işlemin yapılması gerekmektedir (Şekil 2).
- Ahşap malzeme vakum basınç sistemli dolu hücre metotlu emprenye edilmelidir.
- Emprenye maddesi TS EN 335-1 ahşap ve ahşap esaslı malzemelerin dayanıklılığı – biyolojik Tahribat derecesine ait tehlike sınıfları standardında belirlenen çürüme risk sınıflarına uygun olmalıdır.
- Kullanılacak emprenye maddesinin etkinliği EN 788-1 TS 599-1 Ahşap Koruyucu Emprenye Maddelerinin Biyolojik Deneylerle Tespit Edilen Performansı standardında ve EN 252 Arazi Testi standardındaki şartlara göre test edilerek uygunluğu kanıtlanmış olmalıdır.

Şekil 2. Kerestenin emprenye edilmesi

2.2. Ahşabın ölçüleri ve yel değirmeninin detayı

Yapıda kullanılacak dikmeler, kirişler, panel içi bölme ızgaralar, korkuluk dikmeleri, çatı ızgara mertekleri, dış duvar yalı baskı ve diğer tüm ahşaplar Şekil 3'de görülen net ölçülerde yapılacaktır. Dikmelerin 4 köşesi pahlı, 4 yüzeyi orta merkezden projede görüldüğü gibi kanallı olacaktır.Kirişlerin 2 köşesi pahlı, 2 yüzeyi orta merkezden kanallı olacaktır. Merteklerin 2 köşesi pahlı olacaktır. Yapıda kullanılacak tüm ahşap malzemeler 100'lük, 180'lik ve 220'lik zımpara ile zımparalanarak boya ve vernik işlemine göre hazırlanmalıdır [12].



Şekil 3. 20 mt.lik Ahşap yel değirmeninin yandan görünüşü

Çizelge 1. Yel değirmeni teknik bilgiler tablosu [12]

Yükseklik	Zemin kanat ucu yüksekliği 20 mt
Zemin oturum alanı	43 m²
Balkon alanı	67 m²
İki kanat aralığı	13 mt.
Kanat güçlendirme	Çelik giydirme
Ana kapı adedi	1 adet
Balkon kapı adedi	1 adet
Kafa	Sabit
Kanat mili	Ø 80 mm. Ç1050
Yatak	SNL 522 TS
Redüktörlü motor	1,5 KWA dakikada 5 devir

Reduktörlü Motor Sehpa: Redüktörlü motorun çalışabilmesi için kanat-mil-redüktör düzeneğini tespit eden metal sehpa kullanılacaktır (Şekil 4).

Değirmen Ana Dikmeleri: Kullanılacak ahşap 5x12 cm ve değişik boylarda kesildikten sonra en az 6 ay hava kurusu yapılacak, daha sonra ahşap fırınlarda nem yüklemesi yapılarak kurutularak ahşabın nemi istenilen seviyeye düşürülmelidir. Mevcut kurutulmuş kereste planya ve kalınlık işleminden geçirildikten sonra kafa ve yan yüzeylerine soğuk presleme yapılmalıdır. Bu işlemlerin tümü ön kanat gövdesi için de gerçekleştirilmelidir [12].

Değirmen Kanadı: Kanat parçaları rüzgâr toplayıcı ve itici gövdeye tutkallı ve galvanizli paslanmaz vidalar ile monte edildikten sonra ana gövdeye ankrajlanacaktır [12].

Kanat Ana Gövdesinin Güçlendirilmesi: 13 m uzunluğundaki ana gövdelerin yapımı tamamlandıktan sonra 2 mm kalınlığında çelik sac ile kanat gövdesinin formuna göre büktürülüp, gövdelere monte edilecektir [12].

Şekil 4. Kanatları döndürecek sistem

3. Tartışma ve Sonuç

Tarihi çok eski yıllara dayanan yel değirmenleri, günümüzde de farklı kullanış biçimleri ile varlıklarını sürdürmektedirler. Bir tasarım belli bir düzene ve bu düzen içerisinde bir planlamaya sahip olmalıdır. Bütün sanatların temelinde bir tasarım olgusu bulunmaktadır. Tasarlama eylemi, oluşturulacak yapının organizasyonu ile ilgili her türlü faaliyeti içine almaktadır.

Kentsel donatı elemanları kent içinde farklı mekânlarda yer almaktadırlar. Bu mekânlar; yol kenarları ve yaya yolları, meydanlar ve dinlenme alanları, bina kompleksleri ve çevreleri, parklar ve bahçeler, kıyılar, plajlar ve rıhtımlar olarak sıralanabilir. Kullanılacak donatının malzeme seçiminde kullanılacağı yerin tüm özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Mekanda kullanım amacına göre şekillenecek olan donatının gereksinimlere göre farklı biçimlendirmeye elverişli ve farklı malzemelerle entegre edilmeye uygun bir malzemeden seçilmiş olması gerekmektedir.

Günümüzde farklı peyzaj uygulamalarında karşımıza çıkan yel değirmenler gerek görsel gerekse farklı görevler atanarak kullanıma sunulmuştur. İnsanlar artık sıradan mekanlar yerine, tasarımları farklı mekanları tercih etmektedirler (Şekil 5).

Özellikle kent parkları, su alanlarının bulunduğu mekanlar ile vurgu yapılmak istenilen alanlarda kullanılabilirler. Zemin kat ve balkon katı aynı zamanda kafe olarak da tasarlanan yel değirmenleri, görselliğin yanı sıra aynı zamanda hizmet veren yapısı ile de ilgi çekici mekanlar arasında yerini almaktadırlar.

Şekil 5. Ahşap yel değirmeninin kullanımı

Kaynaklar

[1] Özer, S., Aklıbaşında, M., Zengin, M, Erzurum Kenti Örneğinde Kullanılan Kuşatma Elemanlarının Kent İmajı Üzerindeki Etkileri. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 7(2), 123-130, 2010.

[2] Sakal, A.N, Ankara' da Kentsel Donatıların Peyzaj Planlama ve Tasarımı Açısından Analizi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, 2007.

[3] Moughtin, C, Urban Design: Street and Square. Architectural Press ,pp: 238, 1999.

[4] Güneş, S, Kent Mobilyası Tasarımında Disiplinler Arası Etkileşim. Planlama/TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını, Sayı 33, 92-96, 2005.

[5] Suher, H., Ocakçı, M., Karabay, H, İstanbul Metropolitan Kent Planlama Sürecinde Kent Kimliği ve Kent İmgesi. İstanbul 2020 Sempozyumu, İstanbul, s:58, 1996.

[6] Başal, M, Donatı Elemanları, Basılmamış Ders Notları. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Ankara, 2002.

[7] Aykut, F, Dış mekan kentsel donatı elemanlarında malzeme kullanımı Bartın Belediye parkı örneği. Bartın Karaelmas Üniversitesi, 35 s., Bartın, 1997.

[8] Yıldızcı, A.C, Kent Mobilyaları Kavramı ve İstanbul'daki Kent Mobilyalarının İrdelenmesi. I. Uluslararası Kent Mobilyaları Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, İstanbul, s:29-34, 2001.

[9] http://tr.wikipedia.org/wiki/Yel_değirmeni: Erişim tarihi:21.02.2014

[10] http://yeldegirmeni.nedir.com/: Erişim tarihi: 19.02.2014

[11] http://www.resimyagmuru.com/r-degirmen---resimleri-271-degirmen-resimleri-7464.htm: Erişim tarihi: 23.02.2014

[12] Anonim, Gökşenler Yel değirmenleri İnşaat Orman Ürünleri Makine Su ve Rüzgar Santrali Tur. Tic. ve San Ltd. Şti., Proje Ofisi Tasarım Detayları, Mersin, 2014.

EMPRENYESİ GÜÇ AĞAÇ MALZEMELERDE RETENSİYONU ARTIRICI İŞLEMLER VE SİSTEM TASARIMI

PROCESSES TO INCREASE RETENTION IN MATERIALS OF WOOD WHOSE IMPREGNATION IS DIFFICULT, AND SYSTEM DESIGN

Şeref KURT [a], Hüseyin YÖRÜR [b], Süleyman ÖZCAN [c], Mustafa KORKMAZ [d], Yasin DÖNMEZ [e], Muhammed Nuri GÜNAY [f]

[a, b, c, e, f] Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, E-posta: skurt@karabuk.edu.tr; huseyinyorur@karabuk.edu.tr; suleymanozcan@karabuk.edu.tr; yasindonmez@karabuk.edu.tr; m.nurigunay@karabuk.edu.tr

[d] Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye, E-posta: mustafakorkmaz@duzce.edu.tr

Özet

Ağaç malzeme insanoğlunun günlük yaşamında hemen hemen her alanda kullandığı, yapı malzemesi, dekorasyon, peyzaj çalışmalarında hatta beşikten mezara kadar birlikteliğimiz olan bir malzemedir. Özellikle dış hava şartlarına maruz kalacak yerlerde doğal olarak biyotik zararlılara karşı dirençli olan türlerimiz olmasına rağmen, bu malzemelerinde kullanım ömürleri emprenyeli olanlara göre % 70-80 kadar daha az olmaktadır. Özellikle ticari değeri olan, yayılış alanı geniş olan ve hızlı büyüyen ağaçlarda, dış ortam kullanımlarında emprenye işlemi uygulamak kaçınılmazdır. Göknar gibi güç emprenye edilen türlerde, retensiyon miktarını artırmak için -190 ^{o}C olan sıvı azot ile ağaç malzemeyi muamele edip daha sonra basınç uygulayan emprenye yöntemleri ile emprenye etmek retensiyon miktarını %30'lara kadar artırmaktadır. Tasarlanan sistemde aynı emprenye kazanının yanına sıvı azot tankı ilave edildikten sonra sistem sıvı azotu buradan kazana alacak ve ön işlem olarak uygulayacaktır. İşlem sonunda yalıtımlı olan sıvı azot tankına azot geri alınıp hem ekonomik hem de işlevsel bir sistem kurulacaktır. Ayrıca çalışmanın bir sonraki aşamasında bu sisteme vakumlu kurutmada ilave edilerek gelişimi sağlanacaktır.

Anahtar kelimeler: Emprenye, Retensiyon, Göknar, Sıvı Azot

Abstract

Wood material is a material which use in almost every area of daily life of mankind, building materials, decoration, landscape studies until even from the cradle to the grave material. Exposed to especially outside weather conditions, despite the fact that in places that are naturally resistant to harmful biotic our species, according to impregnated in this unimpregnated materials the useful life is less than 70-80%. Especially in fast-growing trees that are commercial value, in large distribution area and outdoor use is inevitable application by impregnation. In impregnation power types like spruce and fir, to increase retention amount, -190° C liquid nitrogen with treatment wood material and then applying pressure impregnation with impregnating increase up to 30% retention amount. Side of the same impregnating boilers on the designed system after addition of liquid nitrogen tank, the liquid nitrogen will take the boiler system and preprocessing will apply here. End of the operation, the insulated liquid nitrogen tank nitrogen taken back will be established in both economic and a functional system. Also in the next stage of these systems operation will get on with the addition of a vacuum drying.

Keywords: Impregnation, Retention, Fir, Nitrogen

1. Giriş

Dünya'da ve Türkiye'de orman varlığı hızla azalmakta ve buna paralel olarak da ağaç malzemenin verimli ve uzun ömürlü olarak kullanımı çok büyük önem kazanmaktadır. Ağaç malzemenin uzun ömürlü olarak kullanımının en önemli yöntemlerinden biri ise emprenyedir. Her ne kadar doğal dayanımı yüksek olan ağaç türleri birçok kullanım yerinde uzun yıllar bozulmadan kalabilmekte ise de, bu süre her ortamda ve her ağaç türünde farklılıklar göstermektedir.

Emprenye edilmiş ağaç malzeme, biyotik ve abiyotik zararlılara karşı dayanıklı oluşunun yanı sıra, ekonomik ve estetik görünüşünden dolayı da önemli bir yapı malzemesidir. Telekomünikasyon direkleri, demiryolu traversleri, su soğutma kuleleri, deniz tahkimat direkleri, doğrama ve dış cephe kaplamaları, çatı malzemeleri, çit direkleri, sera malzemesi, ses bariyerleri, otoyol korkulukları, ambalaj kapları, balkon ve teraslarda kullanılan ağaç malzemeler, garaj, şehir ve bahçe düzenlemeleri gibi bir çok kullanım yerinde suda çözünen emprenye maddelerinin dünya çapında kullanımı son yıllarda büyük oranda artmıştır. Suda çözünen emprenye maddeleri ile emprenye edilen ağaç malzemede koku genellikle bir problem oluşturmamakta, emprenye işlemlerinden sonra ağaç malzemeye yüzey işlemleri uygulanabilmekte, kullanım yerlerinde ve taşıma işlemlerinde daha güvenli malzeme elde edilmektedir [1].

Slahor ve ark. [2], tarafından kavak ve akçaağaç özodunları üzerinde yapılan bir çalışmada, ACQ-B emprenye maddesi ile yapılan emprenye işleminde, emprenye maddesi sıcaklığının penetrasyon ve retensiyon miktarları üzerine etkileri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; ACQ-B nin, sıcaklığın 80 ^{o}F seviyesinden 180 ^{o}F'a çıkarılmasıyla istatistiksel anlamda önemli penetrasyon artışı olduğu belirlenmiştir.

Ağaç malzemenin korunmasını sağlayabilmek için 2000 yıldan beri çeşitli maddeler denenmektedir. Bu konuda

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

başlangıçta hayvansal, bitkisel ve mineral yağlardan yararlanılmıştır. Avrupa"da endüstrileşmenin başlaması ile ağaç malzemenin korunmasında kimyasal maddelerin kullanılması söz konusu olmuştur. Yapılan araştırmaların sonucu, bugün için 2500"den fazla emprenye maddesi bulunmuştur. Bütün emprenye maddelerinin ağaç malzemede yüzey gerilimini azaltıcı etkisi olması, derine nüfus etmesi ve ağaç liflerine tutunucu özellikte olması gerekmektedir [3].

Morris ve arkadaşları [4], tarafından yapılan bir çalışmada, CCA, ACQ-D ve ACQ-D+ emprenye maddelerinin penetrasyon ve retensiyon seviyelerinin sıcaklıkla değişim miktarları araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; ACQ-D+ emprenye maddesinin diğerlerine oranla, 60 ^{o}C'de en yüksek penetrasyon ve retensiyon seviyesini verdiği belirlenmiştir.

1.1. Çözelti Konsantrasyonu ve Retensiyon Seviyesi

CCA emprenye maddelerinde çözelti konsantrasyonundaki artışlar, bakır ve kromun fiksasyonunu yavaşlatmakta ve arseniğin fiksasyonunu hızlandırmaktadır [5]. Ya da, kromla bağlı olan bileşiklerin dağılımı ligninden yana değişirken, fiksasyon hızlanmaktadır [6].

Çözelti konsantrasyonundaki artış odun koruyucu sistemde pH yı düşürmekte ve fiksasyonu hızlandırabilmededir [6, 7]. Bununla birlikte, pratik kullanımda çözelti konsantrasyonu ve retensiyonun fiksasyon oranı üzerine önemli bir etkisi görülmemektedir [6, 7, 8].

CCA bileşenlerinin yıkanması üzerine retensiyonun etkisi pratik olarak daha önemli görülmektedir. Çeşitli araştırıcılar, yıkanabilen arseniğin yüzdesinin artan retensiyonla azaldığını belirtmişlerdir [9, 10, 11]. Ayrıca, daha yüksek retensiyon seviyeleri oduna daha fazla su iticilik kazandırmakta, böylece yıkanmayı sınırlandırmaktadır [12].

1.2. Sıcaklık ve Rutubet

Çeşitli araştırmacılar; özellikle odunun rutubet içeriği çok hızlı düşürülmüşse, sıcaklığı artırmanın fiksasyonu engelleyebildiğini veya yıkanmayı artırdığını belirtmişlerdir [13, 14, 15].

Conradie and Pizzi[16], fiksasyon sıcaklığının, oda sıcaklığından 120 ºC ye çıkarıldığında, CCA elementlerinin yıkanmasını dört kez arttığını bulmuşlardır, 80 ºC de ki fiksasyonda ise herhangi bir olumsuz etkiye rastlanmamıştır.

CCA ile yapılan emprenye işlemlerinden sonra gerçekleştirilen tekrar kurutma işlemi, emprenyeli odundan yıkanmış elementlerin miktarı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Açık havada kurtulmuş odunda, düşük veya yüksek sıcaklıkta fırında kurutulmuş oduna göre elementlerin yıkanması daha az olmaktadır. Muhtemelen yüksek sıcaklık, lignin ve selüloz arasında kimyasal maddelerin yeniden dağılımına neden olmakta, bu da yıkanmayı artırmaktadır [10].

Daha önceden yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere özellikle su ile temas halinde kullanılacak ağaç malzemede emprenye maddesi retensiyon miktarının yüksek olması arzu edilmektedir. Retensiyonu artıran faktörler arasında sıvı azot ile ilgili bir çalışma yapıldığı görülmektedir.

1.3. Emprenye Edilmiş Odunun Deniz İçerisinde Yıkanması

CCA ile emprenye edilmiş direk ve benzeri odun örnekleri, yüksek oranlardaki kimyasal madde retensiyonlarına sahip olmalarından dolayı, diğer ürünlerle kıyaslandığında deniz suyu içerisinde önemli derecede yıkanmaya maruz kalmaktadırlar.

Deniz içerisinde, büyük boyutlu direk veya kerestelere nazaran küçük boyutlu örneklerle çalışmak kolaylıklar sağlamasına karşın, bu örneklerde uzun süreli yıkanma çalışmalarını gerçekleştirmek ve yorumlamak güçtür. Bunun nedeni, deniz içerisindeki odun delici organizmaların saldırısı ve erozyon sonucu örneklerde meydana gelen kütle kayıplarıdır [17]. Bütün bu olumsuz faktörlerden dolayı, deniz içerisinde yıkanmaya yönelik sınırlı sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir.

Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ile dört yapraklı ağaç türü keresteleri, CCA ile emprenye edildikten sonra, 72 ay boyunca İtalya, İsveç ve Avustralya sahil bölgelerinde deniz suyu etkisine maruz bırakıldı. Yapılan analizlerde element kayıpları sırasıyla; en fazla bakırda, daha sonra arsenik ve krom da meydana geldi [18].

Southern pine panelleri (6x38x152 mm) CCA-B ve CCA-C ile emprenye işleminden sonra,78 ay boyunca Florida Key West'de denize maruz bırakıldı. CCA-B ile emprenyeli panellerde % 80 bakır, % 50 krom ve % 50 arsenik kaybı meydana geldi. CCA-C ile emprenyeli panellerde ise bakır ve krom da benzer kayıplar meydana gelirken, özellikle yüksek retensiyonlarda arsenik yıkanmasının azaldığı gözlendi [19].

CCA-C ile emprenyeli Çam ve Kayın diri odun örnekleri (5x25x500 mm ve 20x20x150 mm) 1yıl süreyle İrlanda kıyılarında denize maruz bırakıldı. Bir yıl sonunda, küçük bloklarda CCA bileşenlerinde % 50 oranında azalma meydana gelirken, bakır oranındaki kayıpların krom veya arsenikten daha düşük olduğu gözlendi [20].

Çalışmanın amacı, Ülkemizde yetişen ve güç emprenye edilen bazı ağaç türlerinde emprenye maddesi retensiyonunu artırmak için emprenye öncesi sıvı azot muamelesi ile geçit aspirasyonu olan bölgelerde açıklık oluşturmak ve emprenye maddesinin tutunma miktarını artıracak sistemin geliştirilmesidir.

2. Materyal ve Metodoloji

2.1. Ağaç Malzeme, Doğu Karadeniz Göknarı (*Abies Nordmanniana*) Odun Özellikleri

Odunu sarımsı veya kırmızımsı beyaz renktedir. Yaz odunu kırmızımsı veya morumsu kahve renkli olup, açık renkli ilkbahar odunundan belirgin bir şekilde ayırt edebilir. Yıllık halka sınırları ladine benzer. Ancak, reçine kanalları yoktur. Yapısı daha kaba, rengi kırmızımsı beyaz olup radyal kesitte mat görüntü verir. Göknar, özellikle mobilya, lambri, pervaz, kaplama levhası üretiminde ve inşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılır. Ayrıca kutu, kafes, ambalaj, sandık, fıçı, oyuncak vb. yapımında tercih

edilir.

2.2. Sıvı Azot

Bu proje kapsamında; Sıvı azot endüstriyel anlamda, sıvı hava`nın kısmi distilasyonu ile ya da gaz halindeki havadan mekanik olarak (basınçlı ters osmos yöntemi) elde edilir. Azot, hayvan dışkılarının, üre ve ürik asit halinde büyük kısmını oluşturur. Moleküler azot, atmosferde reaktif değildir fakat doğada, canlı organizmalar (bakteriler) tarafından biyolojik ve endüstriyel anlamda faydalı bileşiklere dönüştürülür. Endüstriyel anlamda azot ve doğal gaz, amonyağa dönüştürülür. Amonyak da ya gübre olarak ya da patlayıcılar gibi başka maddelerin üretiminde (Ostwald prosesi ile nitrik asit üretimi) başlangıç maddesi olarak kullanılır. Sıvı azotun Fiziksel ve Atom özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir [21].

Tablo 1 Fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler	
Maddenin hali	Gaz
Yoğunluk	0,001251 g/cm³
Sıvı haldeki yoğunluğu	0,808 g/cm³
Ergime noktası	-210,00 °C
Kaynama noktası	-195,79 °C
Ergime ısısı	0,720 kJ/mol
Buharlaşma ısısı	5,57 kJ/mol
Isı kapasitesi	29,124 (25 °C) J/(mol·K)

Tablo 2 Atom özellikleri

Atom Özellikleri	
Kristal yapısı	Hegzagonal
Yükseltgenme seviyeleri	±3, 5, 4, 2 (kuvvetli asidik oksit)
Elektronegatifliği	3,04 Pauling ölçeği
İyonlaşma enerjisi	1402,3 kJ/mol
Atom yarıçapı	65 pm
Atom yarıçapı (hes.)	56 pm
Kovalent yarıçapı	75 pm
Van der Waals yarıçapı	155 pm

2.3. Emprenye Maddeleri

Proje kapsamında emprenye maddesi olarak; Tanalith-E, kullanılacaktır.

2.4. Deney Örneklerinin Hazırlanması

Göknar için uygulanan emprenye işlemleri Dolu Hücre (Bethell) Yöntemi'ne göre gerçekleştirilmiştir. Deney örneklerinin emprenyesi ASTM D 1413-07 esaslarına göre yapılacaktır. Çözelti ve işlem sıcaklığı tüm emprenye maddeleri için 20±2 ˚C olarak uygulanacaktır. Hava kurusu haldeki odun örnekleri, emprenye kazanı içerisine yerleştirildikten sonra 60 dk. süreyle 760 mm Hg düzeyine eşdeğer ön vakum işlemine tabii tutulmuştur. Bu işlem sonunda çözelti hazırlama kazanındaki emprenye maddesi vakum etkisiyle odun örneklerinin bulunduğu emprenye kazanına sevk edilmiştir. Emprenye kazanı tamamen kimyasal madde ile dolduktan sonra vakum kapatılarak basınç işlemine başlanmış ve 10-12 bar 60 dk. süreyle basınç işlemi uygulanmıştır. Bu süre sonunda emprenye işlemine son verilmiş, emprenye maddesi emprenye kazanından geri alınmıştır.

2.5. Fiziksel Özellikler

2.5.1 Retensiyon Miktarı ve Retensiyon Oranı

Suda çözünen tuzlar grubundan olan Tanalith-E, için retensiyon miktarı (R, kg/m^3) ve retensiyon yüzdesi (R, %)

$$R = \frac{G.C}{V} \cdot 10 kg/m^3 \quad (1)$$

$$R(\%) = \frac{Moes - Moeö}{Moeö} \cdot 100 \quad (2)$$

eşitliklerinden hesaplanmıştır. Burada;
G: Örnek tarafından absorbe edilen emprenye maddesi çözelti miktarı (g)

V: Örnek hacmi (cm^3)

C: Emprenye maddesi çözeltisinin konsantrasyonu (%)

Moes= Emprenye sonrası deney örneğinin tam kuru ağırlığı (g)

Moeö= Emprenye öncesi deney örneğinin tam kuru ağırlığı (g) dır.

2.6 Sistem Tasarımı

Bu tasarım (Şekil 1), ağaç malzemedeki geçit aspirasyonunu açmak ve retensiyon miktarını artırmak için günümüzdeki emprenye sistemlerine ilave olarak sıvı azotun uygulanması için aşağıdaki aşamalar ile birlikte sistem bütünlük oluşturmaktadır. Bu aşamalar,

1. Aşama: Sıvı azotun basınçla kazana sevki ve 30 dk. kazanda bekletilmesi. (Emprenye sistemine ilave edilen yeni sıvı azot uygulama sistemi)
2. Aşama: 600 mm/Hg^{-1} lik vakum ile sıvı azotun azot tankına geri alınması. (Emprenye sistemine ilave edilen yeni sıvı azot uygulama sistemi)
3. Aşama: Ağaç malzemeye -760 mm/Hg^{-1} ile ön vakum uygulanması.
4. Aşama: Emprenye maddesinin kazana sevki ve basınç uygulanması. (12 atm'e kadar.)
5. Aşama: Emprenye maddesinin -600 mm/Hg ile geri kazanılması.
6. Aşama: Ağaç malzemenin dışarı alınması.

Basınç ve vakum motorları varolan sisteme ilave olarak yalıtımlı sıvı azot tankı ilave edilmiş ve emprenye işlemi öncesi uygulanması ile ağaç malzemenin emprenye edilebilirliğini, özellikle dış ortam kullanımlarında istenen seviyelere getirebilmektedir. Bu yeni sistemle emprenye retensiyon miktarı yaklaşık olarak % 30 daha artırılmaktadır.

Şekil 1. Sıvı Azot Tankı ilaveli Emprenye Sistemleri

3. Sonuçlar

Bu çalışmada, güç emprenye edilen ağaç türlerinden göknar'ın emprenye edilebilme özelliklerinin sıvı azot muamelesi ile iyileştirilmesi ve retensiyon miktarındaki değişimin ortaya konulması beklenmektedir. Emprenyesi güç olan daha düşük değerli ağaçların emprenye edilebilme özelliklerinin iyileştirilmesi ile bu ağaçların biyotik faktörler açısından riskli olan alanlarda da mekanik özelliklerinde düşüş olmadan kullanılması söz konusu olacaktır. Günümüzde bu alanlarda bu ağaçların kullanılma durumları olsa bile, retensiyon miktarının artırılması ile kullanım ömürleri daha fazla olacaktır. Bu durumda ülkemiz ve tüm dünya orman varlığının korunması ve/veya yenilenebilir, organik ve insan sağlığı açısından hiçbir riski bulunmayan ağaç malzemelerin alternatif alanlarda da kullanılabilme durumları oluşacaktır.

Sistemin denenmesi üzerine yapılan ön çalışmada güç emprenye edilebilen ağaç türlerinden göknar denenmiş, sıvı azot ile muamele sonrasında retensiyon miktarında kontrol gruplarına göre yaklaşık olarak % 30 oranlarında artış sağlanmıştır.

Bu tasarımın uygulanması neticesinde, Ülkemizde yetişen ve güç emprenye edilen bazı ağaç türlerinde emprenye maddesi retensiyonunun arttırılması sağlanacaktır. Retensiyon miktarını artırmak için Sıvı azot ile muamelenin ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisinin belirlenmesi ve retensiyon miktarının artışının yüzeysel mi yoksa bağ kurarak, tutunarak mı gerçekleştiğini belirlemek amacıyla tasarımdan sonra bu çalışmalarda gerçekleştirilecektir.

Çalışma neticesinde;

- Emprenyesi güç olan ve daha düşük değerdeki ağaç malzemelerin emprenye edilebilirliği artacak, bu sayede ülkemiz ve tüm dünya orman varlığının sürdürülebilirliği ve korunabilirliği sağlanmış olacaktır.
- İlk kez denenecek olması nedeniyle, başarı durumunda yeni sektör oluşması ve/veya mevcut sektöre yeni yaklaşımlar, yatırımlar getirmesi ile ülke ekonomisine de ciddi katkılar sağlayacaktır.
- Bu tasarımla, emprenye kazanı sistemi geliştirilerek sıvı azot işlemini de gerçekleştirebilecek şekilde emprenye kazanının dizaynı yapılacak, hızlı ve ekonomik bir şekilde tüm işlem basamaklarının (Sıvı azot + vakum + emprenye mad. + basınç) sistem dahilinde optimum retensiyon reçetesine göre uygulanması ile geliştirilmiş emprenye sistemi ortaya konacaktır.
- Bu sistemin patenti alınarak ülkemiz ekonomisine ve bilimsel birikimimize katkı sağlayacaktır.
- Uluslararası alanda bu konuda ilk kez pek çok yayın yapılacak, ülkemizin bilim ve teknoloji alanında güç kazanması sağlanacaktır.

Kaynaklar

[1] Kartal, S.N. 1998. CCA Emprenye Maddeleri İle Korunan Ağaç Malzemenin Dayanıklılık, Yıkanma ve Direnç Özellikleri, İÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, (Basılmamış). S:87, 133, 134, 135.

[2] Slahor, J., Hassler C., Degrot, R. And Gardner, D. 1997. Preservative Treatment Evaluation of Red Maple and Yellow-Poplar With ACQ-B, Forest Products journal, 47(4):50-54.

[3] Bozkurt, A.Y. ve Göker, Y. 1993. Emprenye Tekniği, İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, İ.Ü. Yayın No:3779, O.F. Yayın No: 425., İstanbul, S:3, 13, 106, 172.

[4] Morris, I.P., Mcfarlings, S.M. and Zahura, A.R. 2002. Treatability ORefractory Species With Amine And Amine/Ammoniacal formulations O ACQ, Forest Prod. Journal, 52(10) : 37– 42.

[5] Wilson, A. 1971. The effects of temperature, solution strength and timber species on the rate of fixation of acopper-chrome-arsenate wood preservative. J. Inst. Wood Sci. 5(6):36-40

[6] Pizzi, A. (1983b) Practical consequences of the clarification of the chemical mechanism of CCA fixation to wood. IRGAVP/3220. In: Proceedings, 16th annual meeting, Australia. Stockholm, Sweden: International Research Group.

[7] Anderson, D.G. (1990) The accelerated fixation of chromated copper preservative treated wood. In: Proceedings , American Wood Preservers' Association; 86:pp.129-151

[8] Cooper, P.A., Ung, Y.T. (1992) Accelerated fixation of CCA treated poles. Forest Products Journal. 42(9): pp. 27-32.

[9] Archer, K., Preston, A. (1994) Depletion of wood preservatives after four years' marine exposure in Mt. Maunganui Harbour, NZ. IRG/WP/94-50036. Stockholm, Sweden: Int. Res. Group.

[10] Lee, A.W.C., Grafton, J.C., Tainter, F.H. (1993) Effect of rapid redrying shortly after treatment on leachability of CCA-treated Southern Pine. In: Winandy, J., Barnes, M., eds. Chromium-containing waterborne wood preservatives: Fixation and environmental issues. Madison, WI: Forest Products Society: pp. 52-55.

[11] Wood, M.W., Kelso, W.C., Barnes, H.M., Parikh, S. (1980) Effects of MSU process and high preservative retensions on Southern Pine treated with CCA-type C. In: Proceedings, American Wood Preservers' Association', 76: pp. 22-37.

[12] Coetze, P.F. (1980) Multisalt preservatives and the treated wood/water relationship. South African Journal Forestry. 113: pp. 36-45.

[13] Alexander, D.L., Ung, T., Cooper, P.A. (1993) Effects of temperature and and humidity on CCA-C fixation in pine sapwood. In: winandy, J., Barnes, M. Eds. Chromium-containing waterborne wood preservatives:

fixation and environmental issues. Madison, WI: Forest Products Society: pp. 32-35.
[14] Avramidis, S., Ruddick, J.N.R. (1989) Effect of temperature and moisture on CCA fixation. Holz als Roh-und Werkstoff. 47(8): 328 pp.
[15] Boone, R.S., Winandy, J.E., Fuller, J. (1995) Effects of redrying schedule on preservative fixation and strength of CCA-treated lumber. Forest Products Journal. 45(9): pp.65-73.
[16] Conradie, W.E. and Pizzi, A.1987. Progressive het inactivation of CCA biological performance. Proc. Amer. Wood Preserves' Assoc. 83: 32-49
[17] Baechler, R.H., Richards, B.R., Richards, A.P., Roth, H.G. (1970) Effectiveness and permanence of several preservatives in wood coupons exposed to sea water. In: Proceedings, American Wood Preservers' Association; 66: pp. 47-64.
[18] Leightley, L.E. (1987) Chemical analyses of IRG/COIPM international marine test samples. IRG/WP/4114. Stockholm, Sweden: International Research Group.
[19] Johnson, B.R. (1977) Performance of single-and Dual-treated panels in a semi-tropical harbour. Proceedings Aerican Wood Preservers' Association 73: 174-177.
[20] Hegarty, B.M., Curran, P.M.T. (1986) Biodeterioration and microdistribution of copper-chrome arsenic (CCA) in wood submerged in Irish coastal waters. Institute of Wood Science. 10(76): pp. 245-253.
[21] Anonim, http://tr.wikipedia.org/wiki/Azot.

TARİHİ VE TURİSTİK MEKANLAR İÇİN AHŞAP OTOKORKULUK TASARIMI

WOODEN AUTO GUARDRAIL DESIGN FOR HISTORICAL AND TOURISTIC AREAS

Hüseyin YÖRÜR a, H. İbrahim YUMRUTAŞ b, Şeref KURT c, Yasin DÖNMEZ d
[a, b, c, d] Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye, E-posta: huseyinyorur@karabuk.edu.tr; iyumrutas@karabuk.edu.tr; skurt@karabuk.edu.tr; yasindonmez@karabuk.edu.tr

Özet

2012 yılı istatistiklerine göre; Ülkemizdeki karayollarında meydana gelen yıllık trafik kazası sayısı bir milyon civarında olup 3750 ölü ve 268.079 civarında yaralı tespit edilmiştir. Genel istatistiksel verilere göre, araçların karayolundan dışarı çıkmasıyla meydana gelen kazalardaki can ve mal kaybı ise karayolundaki toplam kazaların yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır.

İmalat hızı, ekonomi, kullanım ömrü gibi sebeplere bağlı olarak Ülkemizde daha ziyade çelik ve beton oto korkuluklar tercih edilmektedir. Ancak estetik kaygısı taşımayan oto korkulukların kullanımı özellikle tarihi ve turistik mekânlara ulaşımı sağlayan yollarda tarihi dokuyu bozmakta, bu mekânların özellikleri ve güzelliklerini gölgeleyebilmektedir. Ülkemizde turizmin logosunun lale ile ifade ediliyor olmasından hareketle, tarihi ve turistik mekânlarda hem bir şehir mobilyası hem de oto korkuluk işlevi görecek olan "Lale şeklindeki ahşap oto korkuluk" tasarımının işlevsel olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Oto korkuluk, Ahşap korkuluk, şehir mobilyası

Abstract

According to 2012 year statistics; in our country, around one million traffic accidents occurred and as a result 3750 dead and around 268.079 injured people. According to general statistic data's, loss of life and property depend on the accidents that car leaves the pavement is about % 20 of total. In our country, depending on construction speed, economy, service life etc. generally steel and concrete guardrails have been preferred. But using guardrails that do not consider aesthetic, especially for the roads serving to historical and touristic areas, spoils the historical scene and over shades the beauties. In our country the logo of tourism is tulip and starting from this point of view, it is conceived to design "tulip shaped wooden auto guardrail" for historical and touristic areas to serve as both city furniture and auto guardrail.

Key words: Auto guardrail, wooden guardrail, city furniture

1. Giriş

Karayollarının kenarlarında kullanılan otokorkuluk tabir edilen pasif güvenlik yapıları yoldan herhangi bir sebepten dolayı çıkan araçları, karayolu içerisinde tutarak yol dışındaki tehlikelere karşı korumak için tasarlanmaktadır. Otokorkuluklar ayrıca çarpan aracın enerjisini sönümleyerek, kontrolden çıkma eğilimindeki aracın yavaşlamasını da sağlamaktadır. Günümüzde birçok değişik otokorkuluk dizaynları bulunmaktadır [1].

Bu çalışmada, esnek çelik otokorkuluklarla rijit beton otokorkuluklara enerji sönümlenmesi ve estetik yönden alternatif olabilecek ahşap oto korkuluk tasarımı üzerinde durulmuştur. Ahşap, beton ve çelik ile karşılaştırıldığında yüksek taşıma gücüne sahiptir. 1 kilogram ahşap, 1 kilogram beton ya da çelikten fazla yük taşır. Ahşap ile 250 metrelik açıklar kolonsuz bir şekilde geçilebilmektedir. Ahşap doğa şartlarına ve depreme dayanıklıdır. Hava şartlarına, kimyasallara dayanıklılık bakımından ahşap metale göre daha dayanıklıdır. Ahşap ve çelik dikmelerle dinamik çarpışma testleri yapmışlardır [2]. Testlerde kullanılan dikmeler W150x13.5 ve W150x23.5 çelik profil kullanılmış ve yine deneylerde 150x200 mm çam ağacından yapılan dikmeleri testlerde kullanmışlardır. Deney sonucunda farklı deformasyonlar elde etmişler ve ahşap dikmelerin aracı durdurduğunu belirtmişlerdir [2]. Ahşanın bu üstün özelliklerini, doğal görünümü ile beraber otokorkuluklarda kullanılması önerilebilir. Ahşap otokorkuluk tasarımı yapılırken; malzeme olarak, özellikle tarihi mekanların dokusuna en uyumlu olabilecek malzeme ahşap ve strüktür olarak ise Türkiye'nin turizm logosu olarak kullanılan lale modeli esas alınmıştır. Mekâna katılan her nesnenin o mekânın var olan kimliğinin desteklenmesi veya yıpratılmasında rolü büyüktür. Bu nedenle mekâna eklenen her nesnenin mekânın barındırdığı fonksiyonları destekleyen nitelikleri kadar ortak dile hizmet etmesi bir zorunluluktur. Burada ki ortak dil mekânın estetik değerleri ile ürünün çatışmaması kadar ürünün o bölgenin ruhuna hizmet edecek nitelikte olmasıdır [3]. Turizm mekanı olan tarihi Safranbolu şehrinde kullanılan korkuluklar maalesef ahşapla bezenmiş şehrin içerisinde dokuya uygun biçimde değildir. Şekil 1 ve 2'de tarihi Safranbolu şehrinde kullanılmış otokorkuluklar görülmektedir.

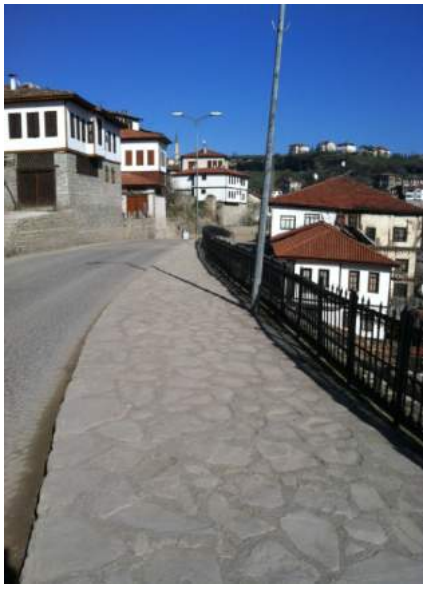
Otokorkuluklar kullanım ve montaj türüne göre alanlarına ayrılmaktadır;

1. Basit otokorkuluk (B.O.)
2. Çift otokorkuluk (C.O.)
3. Ağır hizmet tipi otokorkuluk
4. Köprü koruyucu basit otokorkuluk

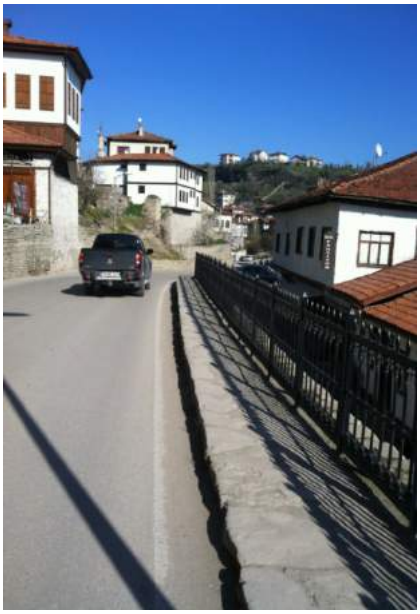
Basit mesafeli otokorkuluklar, çift otokorkuluklar kısmen daha kısa direk mesafeleri ile köprülerde ve diğer

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

mühendislik yapılarında kullanılır. Şekil 3'de çelik raylı otokorkuluk sistemi görülmektedir.



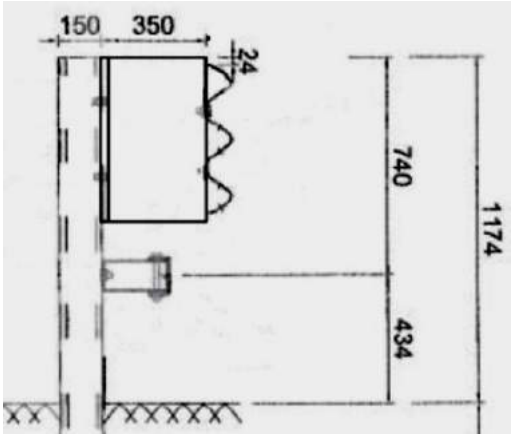
Şekil 1. Tarihi Safranbolu şehrinde kullanılan korkuluklar



Şekil 2. Tarihi Safranbolu şehrinde kullanılan korkuluklar

Çelik otokorkuluklara çarpan araçların otokorkuluğu kopartması, altından veya üstünden geçmesi, çarparak takla atması, otokorkuluk rayının aracın içerisine saplanması gibi dezavantajlar Şekil 4 ve 5'de görülmektedir. Ayrıca aracın, otokorkuluğun rampa etkisiyle havalanması gibi istenmeyen davranışlarda bulunabildiği saptanmıştır [4].

Çelik halatlı otokorkulukların ise özellikle motosiklet kazalarında yüksek oranda risk taşıdığı, sürücülerin baş bölgesinin bu tür çarpışmalarda ağır yara aldığı ve ayak uzvunun bariyerleri yere sabitleyen demirlere takılarak kopmaları riskinin yüksek olduğu tespit edilmiştir [4]. Şekil 6'da çelik halatlı otokorkuluk sistemi görülmektedir.



Şekil 3. 3N çelik raylı otokorkuluk sistemi

Şekil 4. Çelik oto korkuluk dezavantajları

Beton otokorkuluklar genelde betondan yapılan ve özel bir şekli olan (new-jersey profili) rijit otokorkuluk sınıfına girmektedir. Dar refujlü bölünmüş yollarda fiziksel ayrımı sağlamak için kullanılan beton ayraçlardır. Belirgin bir şekli ve ölçüsü vardır. New jersey otokorkuluk ismini almasının sebebi, ilk beton otokorkuluk 1955 yılında new jersey de kullanılmış olmasıdır. Zaman içerisinde şekli şemali değişmiş ve bugünkü boyutlarına ulaşmıştır. Tek yönlü otokorkuluk tiplerinde asfalttan yüksekliği 80 cm, üst genişliği 15- 20 cm taban genişliği 57 cm dir. Çift yönlü beton otokorkuluklarda ise taban genişliği 68 cm kadar çıkmaktadır [5].

Beton otokorkuluklar, aracın herhangi bir sebeple yolu terk etme davranışına karşılık aracın yol dışına kontrolsüz savrulmasına engel olur. Beton otokorkulukların önemli avantajı, psikolojik etkisi olup sürücülerin fazla hız yapma eğilimlerini azaltan önemli bir psikolojik etki yaratırlar [6]. Beton otokorkulukların verdiği psikolojik avantajın yanı sıra aynı zamanda mimari açıdan da soğuk bir etki bırakmaktadır. Özellikle tarihi ve turistik mekanlarda dokuyla uyumu bozmaktadır.

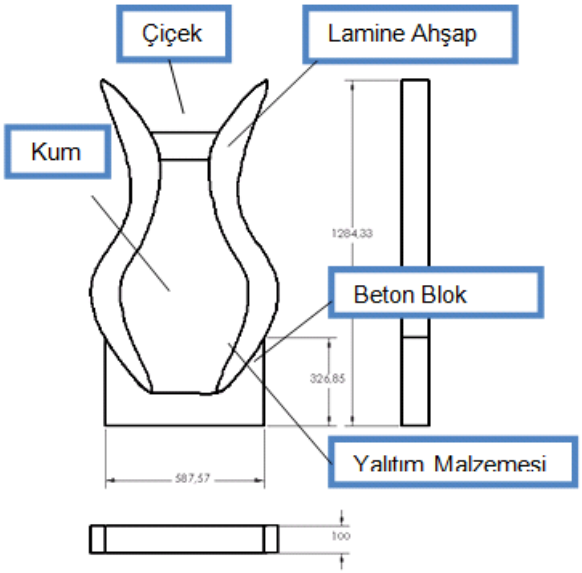
Şekil 5. Çelik oto korkuluk dezavantajları

Şekil 6. Çelik halatlı otokorkuluk

Çelik destekli ahşap raylar; çelik levhalarla desteklenmiş ahşap raylar ve ahşap dikmelerden oluşmaktadır. Bu şekildeki otokorkuluklar estetik bir özellik taşımaktadır. Bu yüzden daha çok A.B.D.'de ulusal park yollarında kullanılmaktadır [1].

Çelik, halat ve beton oto korkulukların her birinin birtakım avantaj ve dezavantajı bulunmasına rağmen özelikle tarihi mekanlarda ahşap otokorkulukların sunduğu doku uyumunu sağlayamayacağı ayrıca kaza anındaki enerji sönümlenmesinde ahşabın diğerlerine nazaran daha üstün bir performans sergileyeceği düşünülmektedir. Ayrıca şehir mobilyası olarak da tamamlayıcı bir unsur olacağı tahmin edilmektedir. Şekil 7 ve 8'de tasarlanan ahşap lale otokorkuluk gösterilmektedir.

Ahşabın doğallığı, insana ferahlık veren yapısı, mekanik ve fiziksel özelliklerinin üstünlüğü nedeniyle kullanımı artmış ve çeşitli birleştirme kimyasalları kullanılarak farklı odun kompozitleri elde edilmeye başlanmıştır. Ahşap malzemenin sahip olduğu üstün özelliklerinin, dış ortamda kullanımında da uygun materyallerle sağlanmıştır [7].



Şekil 7. Lale şeklinde ahşap otokorkuluk tasarımı

2. Ahşap Otokorkuluk Tasarımda Kullanılan Elemanlar

2.1. Lamine Ahşap Gövde

Ana gövdenin lamine ahşap malzemeden üretilmesi ve bu suretle hem ekonomiklik sağlanması hem de dayanımın artırılması hedeflenmiştir. Lamine ahşap malzemelere doğal görünümü bozulmadan dış ortam şartlarına karşı koruma sağlanabilmektedir.

2.2. Beton Blok

Alt kısımda, ahşabın dış etkenlerden (yağmur suyu, kar, haşere vb.) etkilenmemesi için tasarlanmıştır.

2.3. Kum

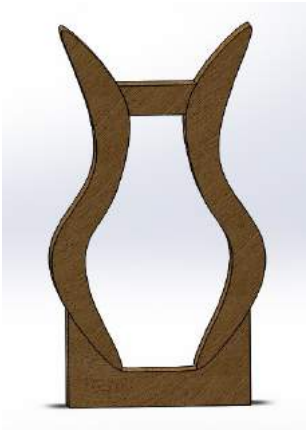
Çarpışma anında ahşabın tek başına karşılamakta güçlük çekeceği varsayılan etkinin sönümlenmesine yardımcı olmak amacıyla kullanılacaktır. Ayrıca oto korkuluğu vazo şeklindeki bir şehir mobilyası olarak tasarlandığında, üzerinde çiçeklerin bulunması estetiği artırıcı bir unsur olarak sunulabilecektir.

2.4. Yalıtım malzemesi

Ahşap gövdenin iç kısmında yer alan kumun yağmur suları kar suları vb. sebeplerle nemlenmesi ve ahşabı deformasyona uğratmasını önlemek maksadıyla iç cidarlarına yalıtım malzemesi uygulanması öngörülmüştür.

2.5. İç Post (Sabitleme)

Oto korkuluğun beton ve lamine malzemeden yapılan ahşap kısmının 3 mt. aralıklarla yere sabitlenmesi gereklidir.



Şekil 8. Tasarlanan lale modeli

Ahşap otokorkuluklar elemanları tasarlanırken araçların çarpma halinde güvenli bir şekilde yolda kalmalarını sağlaması gerekmektedir. Kullanılan ahşap otokorkuluklara çelik plaka ile desteklenerek daha fazla direnç sağlanmıştır. Resim 9 ve 10'da çelik takviyeli ahşap otokorkuluklar gösterilmektedir.

Şekil 9. Ahşap otokorkuluklar

Şekil 10. Çelik destekli ahşap otokorkuluklar

Tasarlanan otokorkuluklar, çarpışma testleri, performans sınıfları, çarpışma yastıkları, kabul edilebilirlik kriterleri, otokorkuluk ürün şartnameleri, vb. gibi değer ve normları bünyesinde barındıran EN 1317 standardı dikkate alınarak tasarım yapılmalıdır.

3. Sonuç ve Öneriler

Yol kenarlarında kullanılan bariyerlerin performanslarının ne seviyede olduğunu belirlemek için çarpışma testleri kullanılmaktadır [8]. Bu çarpışma olayının elle çözüme olanak vermemesinden ve kompleks dinamik etkileşimlerin meydana gelmesinden dolayı çarpışma testleri yapılmaktadır. Bu testlerin standardizasyonu sayesinde değişik yol kenar yapılarının güvenliliğinin karşılaştırılması mümkün olmaktadır. Çarpışma testi sonucunda kabul edilebilir performans gösteren yol kenar yapıları karayollarında kullanım için gerekli şartlara sahip olarak kabul edilir. Yapılan ahşap lale tasarımlı otokorkuluk mekanik dirençlerinin simüle edilmesi ve yine çarpışma merkezinde test edilerek üretilen lale modelinin turizm ve tarihi mekanlarda dokuyu bozmadan güvenliğin sağlanmış olması önerilmektedir. Ayrıca tarihi Safranbolu şehrinde ahşap otokorkuluk tasarımı çevre kimliği oluşumunda etkili olan simgesel özellikler, psikolojik etkiler, doku ve donatılar ile uyumlu olması ve uyuma katkıda bulunması, psikolojik açıdan insana huzur ve mutluluk veren birçok eleman ve özelliklerin bir arada bulunması mekânının kalitesini artıracağı düşünülmektedir. Otokorkulukların tasarlanması ayrıca şehir mobilyası olarak da ele alınabilir. Ülkemizde turizmin logosunun lale ile ifade ediliyor olmasından hareketle de turizm için tarihi mekanlara ayrı bir görsellik katacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

[1] Karataş, F., Ağır Vasıta Çarpmalarına Dayanıklı Geçiş Otokorkulukları: Bir Çelikten-Betona Geçiş Otokorkuluğu Tasarımı Ve Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı, 2010.

[2] Coon, B.A., Reid, J. D, and Rohde, J. R., ''Dynamic Impact Testing of Guardrail Posts Embedded In Soil. 'Midwest Roadside Safety Facility, University of Nebraska, MwRSF Research Report No. TRP-03-77-98, 1999.

[3] Güneş, S., Kent Mobilyası Tasarımında Disiplinler Arası Etkileşim. Planlama/TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayını, Sayı 33, 92-96, 2005.

[4] T.C. ulaştırma bakanlığı 10. Ulaştırma şurası 'otokorkuluk raporu' 27 Eylül – 1 Ekim 2009.

[5] Mutlu, O., Metrobüs Güzergâhında Kullanılan Halatlı otokorkulukların İncelenmesi Ve Alternatif Sistemlerin Güvenlik Dayanımının Belirlenmesi, Bahçeşehir Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

[6] Atahan, A.O ve Gözen, A., " Karayolu Güvenliği: Beton Otokorkuluklar ve Özellikleri.", Karayolu Trafik Güvenliği Sempozyumu, 2010.

[7] Yörür, H., Aydemir, D ve Uysal, B., Emprenye Edilmiş Ahşap Malzemenin Yapışma Direncini Etkileyen Faktörler, Bartın Orman Fakültesi Dergisi, Cilt: 12, Sayı: 18, 99-106, 2010.

[8] Ross, H.E., Sicking, D.L., Zimmer, R.A and Michie, J.D., Recommended procedures for the safety performance evaluation of highway features. *NCHRP Report 350,* National Research Council, Washington, 1993.

DESIGN OF AN AUTOMATIC MICROREACTOR SYSTEM FOR CATALYTIC GAS PHASE REACTIONS

Menderes LEVENT
Department of Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Karabük University, Karabük, Turkey
E-mail: mlevent@karabuk.edu.tr

Abstract

In order to test the kinetics of gas phase reactions on catalysts, an fully automatic experimental system was designed. The system can be operated in the range of 0-100 bars and 25-700 °C. The flow, temperature and pressure of the system are controlled by the control signals from a DAC board of a CUBE computer. The output of the pressure, flow and temperature sensors were read through an ADC board of the computer.

The calibration and testing studies of the flow, pressure and temperature systems were carried out by the set point signals from the computer.

After the calibration studies, a commercial steam-methane reforming catalyst was crushed into small particles (0.25-0.35 mm). The microreactor was packed with this crushed catalyst samples. The conditioning of the catalyst was carried out with hydrogen flowing through the system at 650 °C and 5 bar system pressures. Finally, a limited catalyst evaluation study was carried out at a temperatures of 550 to 650 °C and pressures of 1 to 5 bars of steam-methane reforming, analysing the gas products at the outlet of the experimental system.

Keywords: Microreactor, Catalyst conditioning, Steam reforming of methane, Analogue digital converter, Digital analogue converter, Multiplexer, Flow and temeprature measurements, Pressure measurements

1. Introduction

The main purpose of this study is to develop (design) an experimental system for catalytic gas phase reactions, to demonstrate the rig is working, and to do a limited study of the catalyst evaluation. The experimental set up consists of the flow, pressure and temperature systems which are controlled by 0-5 volts set point signals from a CUBE industrial computer.

A significant recent development in laboratory reactor technology is the microcatalytic reactor. As the name implies this reactor is characterized by the use of a very small quantity of catalyst (usually in the range 0.01 to 2.0 g.), with correspondingly small quantities of reactants. The advantages of such a reactor can be easily visualized. In view of the microquantities involved, the heat of reaction would be too small to cause any significant variation in temperature in the bed; the reaction would proceed under practically isothermal conditions in the external field.

The microreactor can be operated either as a straight forward steady-state reactor, like any of the differential (or integral) reactors, or a pulse of reactant can be introduced into the reactor and all the basic kinetic data extracted from a theoretical analysis of the concentration pulse of the reactant through the reactor. Both techniques have been employed in obtaining kinetic data [1-4].

A chromatographic retention volume and a brief review of microcatalytic reactor technology prior to 1970, indicate the utility of the microcatalytic technique to surface chemistry and poisoning studies have shown by a few workers [5-7]. The usefulness of the pulse-flow technique to the more general cases of nonfirst-order kinetics, a microcatalytic reactor for vapourphase catalytic reactions and modifications in the original microreactor have suggested by several workers [8-13]. Semiautomatic [13] and completely automatic [14], precision microreactors have also been reported for obtaining data on reaction kinetics and catalyst behaviour. Recently, an integrated system comprising a microcatalytic reactor combined with a gas chromatograph have described by Binter and co-workers [15]. The kinetic measurements of the steam reforming of methane reactions were carried out in similar experimental systems by many workers [16-25].

2. Experimental

The equipment has been designed to examine the kinetics of gas phase reactions within the range 25-700 ^{o}C and pressure 1-100 bar. The catalyst in weight up to 2 gram is contained within 6 mm diameter inconel piping in a temperature controlled enclosure. In this study, two principal aspects of a new microreactor have been investigated for catalyst evaluation. An operational system has been developed for the microreactor under the control of a CUBE industrial micro computer. The operational system includes start up, running and normal shut down of the flow controllers, preheater and reactor heater controlling the environment of the catalyst.

Each system for flow control requires either a set point or a control loop operated through the computer, while each heater requires the calculation and activation of control action based upon temperature measurements and determined set points.

In addition to the normal operation of catalyst evaluation, safety shut-downs are activated by over pressure and non-programmed rise in temperatures of reactor, preheater or environmental temperatures.

The develeoped computer system provides overall supervision of each aspect of process operation, and safety checks. Individual control and operational modules are called in by the supervisory system as required (see Fig. 1).

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

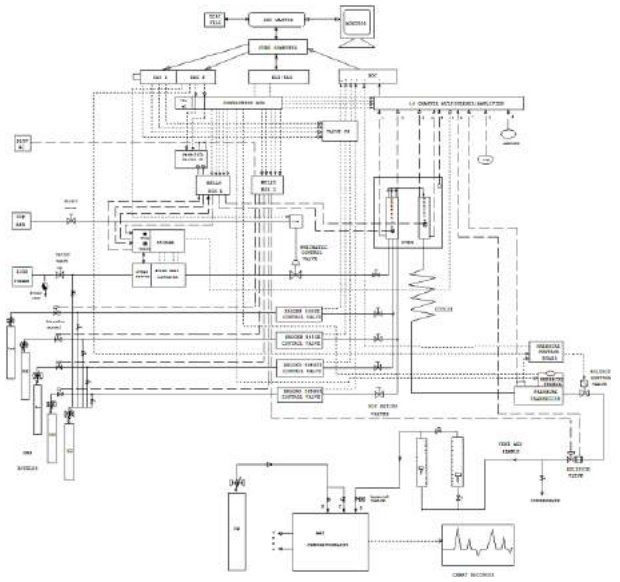


Fig.1 Microreactor Pipe and Instrumentation Diagram

Principally, such systems are developed and a limited catalyst evaluation study was included. The fully computer controlled experimental equipment, consists of a computer system, a flow control system, a temperature control system, a pressure control system and a gas analysis unit. An overall schematic diagram of piping and instrumentation is drawn as Fig. 1.

2.1. Calibration of The Equipment

2.1.1. Flow, Steam and Pressure Control Systems

Mass flow through the thermal mass flow controller is proportional with the power input to the controller's valve. If the power input is a function of specific heat capacity and temperature difference between upstream and downstream of fluid through the mass flow controller, then, it has to be expressed with the following equation [Levent, 1994]:

$$P = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad or \quad m = \frac{P}{C_p \cdot \Delta T} \tag{1}$$

Where P is power input to the flow controller, m, C_p and ΔT are mass flow rate, specific heat capacity and temperature difference of upstream and downstream of fluid, respectively.

$$m_f = Q_f \cdot \rho_f = \frac{P}{C_{pf} \cdot \Delta T_f} \tag{2}$$

Where m_f , Q_f , ρ_f are mass, volume and densities of the fluid, respectively. If we rearrange the equation (2) for the volumetric flow of fluid, then [Levent, 1994];

$$Q_f = \frac{P}{C_{pf} \cdot \Delta T_f \cdot \rho_f} \tag{3}$$

If we rewrite equation (3) for two different gases, then;

$$Q_1 = \frac{P_1}{C_{p1} \cdot \Delta T_1 \cdot \rho_1} \quad \text{and} \quad Q_2 = \frac{P_2}{C_{p2} \cdot \Delta T_2 \cdot \rho_2} \tag{4}$$

If we assume P1=P2 and $\Delta T_1 = \Delta T_2$, and by division of the equation (a) with the equation (b), the following equation will be derived for the calculation of gas flowrates through the mass flow controllers[Levent, 1994];

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left[\frac{\rho_1 \cdot C_{p1}}{\rho_2 \cdot C_{p2}} \right] \tag{5}$$

Where Q_2 and Q_1 are the volumetric flowrates of the second and first gases, respectively. ρ_1 and C_{p1} are density and specific heat capacity of first gas, ρ_2 and C_{p2} are density and specific heat capacity of second gas. By using the above equation, the flowrates of any gases through the mass flow controllers should be calculated from the reference gas flowrates.

The computer and peripherals were tested and calibration studies of the DAC board was carried out. The flow systems (gas and steam systems) were calibrated with nitrogen at upstream pressures of 5 bar and system pressures of 0-5 bar.

For gas flows through the flow controllers, the following correlations have been derived from the calibration data :

$$Q_{N2} = 200 \cdot V_{set} \quad \text{and} \quad Q_{N2} = 3.0525 \cdot 10^{-2} \cdot DN \tag{6}$$

Where Q_{N2} is volumetric flowrate of nitrogen (ml/min), V_{set} is set point voltage (volts) for N_2 flow, and DN is the digital number of gas (N_2) flow on the computer screen.
For methane and hydrogen flows through the mass flow controllers, the following correlations have been derived :

$$Q_{CH4} = 0.806 \cdot Q_{N2} \quad \text{and} \quad Q_{H2} = 1.005 \cdot Q_{N2} \tag{7}$$

Where, Q_{CH4} and Q_{H2} are volumetric flowrates of methane and hydrogen (ml/min), respectively and Q_{N2} is the volumetric flow rate of N_2 (ml/min) through the mass flow controllers.

The calibration studies of the pneumatic M valve carried out with nitrogen at upstream pressure of 5-5.5 bars and downstream pressures of 0 to 5 bars. The steam feed flow rate was calculated from the calibration data of the pneumatic M valve (Fig. 2) with nitrogen and physical properties of the steam.

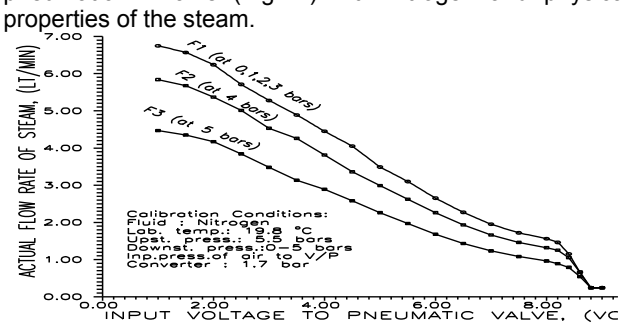


Fig. 2 Calibration graph of M pneumatic valve with N_2 at different pressures

The pressure control system was calibrated at set point voltages of 0 to 5 volts for the system pressures of 0-5 bar (see Fig. 3). Among pressure, set point voltage and digital numbers the following correlations were obtained :

$$P_{syt} = V_{set} \quad \text{and} \quad P_{syt} = 1.5263 \times 10^{-4} DN \tag{8}$$

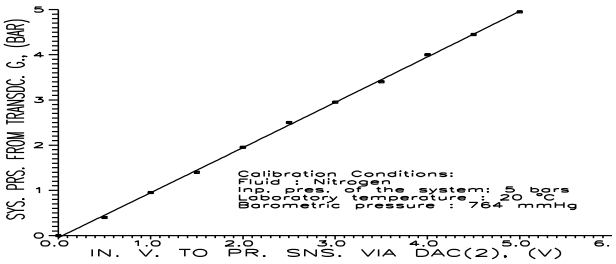


Fig.3 Calibration graph of the pressure control system

2.1.2. Temperature Control System

The preheater and reactor temperatures were controlled by the following control action :

$$Control\ \ Action = K\left[T_{set} - \frac{1}{2}\left(T_{in} + T_{out}\right)\right].75 \tag{9}$$

Where, K is proportional gain, T_{set} is set point temperature, T_{in} and T_{out} are the input and output temperatures of the preheater or reactor. The output readings of the thermocouples were converted to temperature values by the following equation:

$$T_{act} = DN / 75 + T_{amb} \tag{10}$$

Where T_{act} is the actual temperature in °C, T_{amb} and DN are the ambient temperature in °C and digital numbers between 0-32760, respectively. If temperature readings (up to 650°C) may be considered to be linear with the set point voltages (0 V to 5 V) then, the following correlations may be derived.

$$T = 130.V_{set}\ , \qquad T = 1.984\, x 10^{-2}\, DN \tag{11}$$

The temperature system has been tested and calibrated for the temperature range of 0-750 °C (see Figs. 4 to 6).

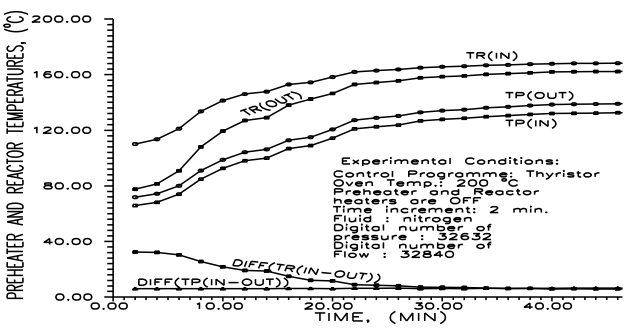


Fig. 4 Preheater and Reactor Input/Output Temperatures and Temperature Differences against Time (Preheater and Reactor Heaters are OFF and the Oven Heater is ON)

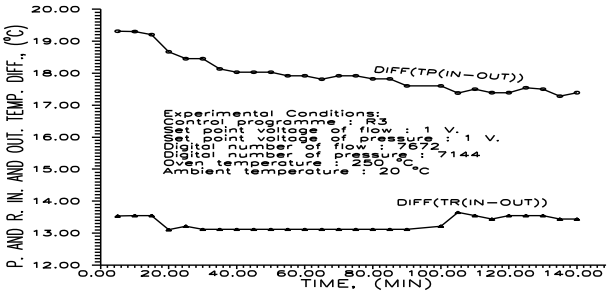


Fig. 5 Preheater and Reactor Input/Output Temperatures and Temperature Differences against Time (Reactor input temperature controlled by the preheater output temps.)

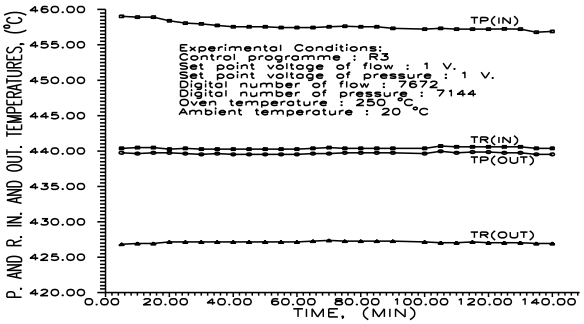


Fig. 6 Preheater and Reactor Input/Output Temperatures and Temperature Differences against Time (Reactor input and output temps. controlled by the preheater heating rate)

The reactor system was controlled by a single board Eurobeeb industrial computer. The control was achieved by a computer program written in Control Basic that provided continuous monitoring and adjustment of flow, pressure and temperature controllers by means of sixteen channels of analog to digital converters(ADC), twelve channels of digital to analog converters(DAC) and sixty four digital single bit control lines to provide on-off signals. A BBC microcomputer provided input and output signals to the industrial microcomputer by means of a RS423 serial interface. The output value of flow, temperature and pressure were displayed on the computer screen as a digital number every twenty seconds. The detailed components of the experimental arrangements are described in the following sections. For temperature control of a thyristör ;

$$\Psi_1 = \tan^{-1}\left[\frac{\cos 2\alpha - 1}{\sin 2\alpha + 2\left(\pi - \alpha\right)}\right] \tag{12}$$

Where α is firing angle and Ψ_1 is the phase angle. Average Power of thyristör is,

$$P_L = \frac{V^2}{R_L}\left[\frac{2\left(\pi - \alpha\right) + \sin 2\alpha}{2\pi}\right] = V\, I_{L1}\, Cos\Psi_1 \tag{13}$$

or , the average power of thyristor can be determined from;

$$P_L = \frac{1}{2\pi}\int_{\alpha_1}^{2\pi} \frac{V_L^2}{R_L} d\alpha = \frac{V_m^2}{2 R_L}\left[\frac{\pi - \alpha_1}{2\pi} + \frac{Sin\, 2\,\alpha_1}{4\pi}\right] \tag{14}$$

Where P_L is average load power of thyristor, R_L is resistive load and V_m is mean voltage. The thyristor power output can also be directly measured by implementing a

Wattmeter between the thyristor and the heaters.

2.1.3. Gas Analysis System

The chromatographic peaks were recorded by a chart recorder having a sensitivity of 1 mV and speed of 1 cm/min. The selected output attenuator settings for hydrogen, methane and carbon monoxide were 500, 100 and 10, respectively. The chromatographic column inlet pressure was 1.5 bar and the column packing material was molecular sieve (5A). The actual values of the carrier and reference gas flowrates were determined in binary and ternary calibration studies of the chromatograph as 52 cc/min. In the experimental run of fig. 7, the gas sample produced three chromatographic peaks. The first peak belonged to the lightest component(H_2). Therefore this component was hydrogen. The first chromatographic peak has an average elution time of 3.15 minutes for the carrier gas flowrate of 52 cc/min.

The second peak of the gas sample has an elution time of 6.31 minutes. Thermal conductivity of methane is lower than the thermal conductivity of hydrogen. Hence, the methane was eluted second. The third peak has an elution time of 9.473 minutes. The third peak was belonged to the carbon monoxide, hence a small amount of reaction was taking place.

By determination of two or three components (hdrogen, methane and carbon monoxide i.e.), the other components in the output gas mixture can be calculated by setting up a simple mass balance between inlet and outlet of the reactor system.

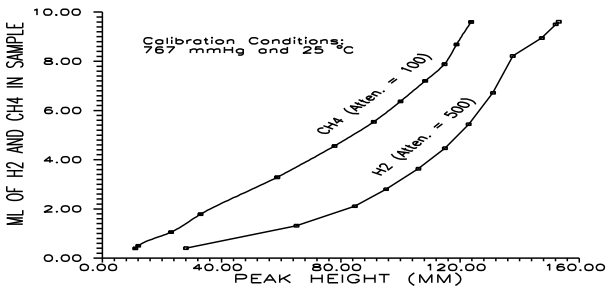


Fig.7 Calibration graph of GC for a gas sample during steam reforming of methane reaction

2.2. Conditioning of The Catalyst

In this study, a commercial Ni/Al_2O_3 catalyst has been used. The hollow finite cylindrical catalyst was crushed into small particles and graded into 0.25-0.35 mm by sieves. The reactor was packed with 1.6-2 gram crushed catalyst. Catalyst activation studies have been carried out with hydrogen flowing through the reactor. The hydrogen was at an upstream pressure of 5-5.5 bars, and the pressure of the experimental system was 5 bar. The hydrogen flow was set through channel 1 of the DAC(1) board of the computer. The set point voltage for the hydrogen flowmeter was 0.5 volts which allowed approximately 100 ml/min of H_2 to flow through the experimental system. The corresponding digital number for that flow of H_2 was 3920 on the computer screen. The temperature of the system for the preheater and reactor was set to 650 °C, with the allowable, selected maximum temperature as 700 °C and the ambient temperature 20 °C (see Fig. 8). For each experimental run, the catalyst was activated for 18-20 hours with hydrogen flowing through the experimental system at 650 °C [25].

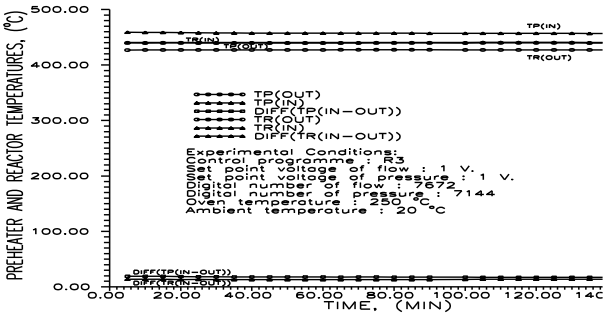


Fig. 8 Preheater and Reactor Input/Output temps. and Temp. Differences against Time during the catalyst conditioning (Reactor input and output temperatures controlled by the preheater heating rate)

3. Results and Discussions

In steam-methane reforming study, always, first hydrogen, second steam and third methane were fed to the experimental system. At the end of the each experimental run, always, first, methane, second steam and third hydrogen were switched off. After the calibration, catalyst conditioning, preparation of the gas analysis unit and control program development studies, a limited experimental study of the steam reforming of methane was achieved. For this purpose, compressed gases (methane and hydrogen) and saturated steam (from the main) were fed to the experimental system at upstream pressures of 5 to 6 bars (see Figure 1). The selected system pressure range was 2.5 to 4.5 bars. The experimental runs were carried out for steam to methane ratios of 2.5 to 8. The selected reaction temperatures range was 600-650 °C.

In this reaction studies, hydrogen flow was controlled by the set point voltages of channel 1 of the DAC(1) board of the computer. The chosen hydrogen flows through the reactor system were 134.7 ml/min for all the experimental runs in the reaction studies. The output readings of the hydrogen flows were taken through channel 2 of the ADC board, and so, the displayed digital number on the computer screen was 4389.8.

The methane flowrate was controlled by the set point signals of the channel 0 of the DAC(1) board of the computer. The arranged methane flow range was 104.7 ml/min up to 322.4 ml/min. The flowrates of methane were read through channel 1 of the ADC board of the computer as digital numbers in the range of 4255 to 11073. The steam flow was controlled by 7 to 10 volts set point voltages of channel 7 of the DAC(2) board. The steam flowrates through the steam thermal mass flowmeter were read through channel 0 of the ADC board.

The reactor outlet compositions were analyzed by an on-line gas chromatograph, equipped with a 1.5 m long column, fitted with Porapak Q and operated at 40 °C. Hydrogen and nitrogen were used as a carrier gases.

3.1. Steam Reforming of Methane Reaction

A trial run was carried out to measure the reaction products chromatographically, hydrogen and carbon monoxide. The experimental run was carried out at 650 ^{o}C and 3 bar system pressure. For this particular experiment, the reactor was packed with 2.1 gram crushed catalyst with a grade of 0.25-0.30 mm and the catalyst was reduced at 650 ^{o}C for 22 hours. Simultaneously, chromatographic column was conditioned. The experimental system was heated up to 650 ^{o}C by hydrogen flowing through it for 2-3 hours. In the meantime, the steam was opened to the drain through a steam trap to remove any possible condensate in the pipe. After this warm-up period and maintaining stable conditions of temperature, pressure and flow, the steam was fed to the system and then, methane was fed to the system.

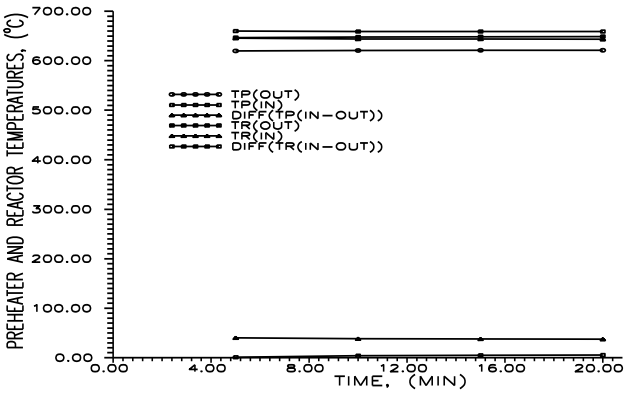


Fig. 9 Preheater and Reactor Input/Output Temperatures and Temperature Differences against Time during the Steam Reforming of Methane Reaction (Reactor input and output temperatures controlled by the preheater heating rate)

In this experimental run, the flowrates of hydrogen and methane were measured and controlled, by the Brooks mass flow controllers. The feed flowrate of methane was 272 ml/min and the feed flowrate of hydrogen was 135 ml/min. The steam feed flowrate was calculated from the calibration data of the pneumatic M valve with nitrogen and physical properties of the steam. The steam flow through the pneumatic M valve was, approximately, 1119 ml/min. In this experimental run of the steam reforming of methane, the experimental rig was operated for several hours (4-5 hours i.e.).

The total gas flowrate at the outlet of the reactor was measured by two rotameters before the analysis unit. The total volumetric flow of the gas mixture at the outlet of the system was approximately 1.5 lt/min. During this experimental run, the gas analysis was carried out by the chromatograph for 4-5 hours (see Figure 9). This gas analysis was carried out with a carrier gas flowrate of 52 cc/min which has a regulator pressure of 10 bars.

At the end of the experimental run, first the methane flow was switched off, then, the steam was turned off, and finally, the hydrogen feed was switched off in order to prevent any possible carbon formation reactions.

The chromatographic peaks were recorded by a chart recorder having a sensitivity of 1 mV and speed of 1 cm/min. The selected output attenuator settings for hydrogen, methane and carbon monoxide were 500, 100 and 10, respectively. The chromatographic column inlet pressure was 1.5 bar and the column packing material was molecular sieve (5A). The actual values of the carrier and reference gas flowrates were determined in binary and ternary calibration studies of the chromatograph as 52 cc/min.

4. Conclusions

So far, an experimental system has been developed for gas phase reactions (see Figure 1). The individual components of the experimental system have been calibrated and the studies of the overall operation were carried out. The practical study was concluded by a limited study of the catalyst evaluation experiments.

Gas flows (methane, hydrogen, nitrogen) and system pressure were controlled by 0-5 volts control signals and the steam flow was controlled by 0-10 volts control signals from the DAC board of the computer. The system temperature was controlled by 0-5 V control signals for the DAC board by generating two control actions in the control program of the computer (see Fig. 1).

The outputs of the gas flows and pressure sensors were read by the ADC board of the computer as a digital number in the range of 0-32760. The output of the steam flow sensor was read by the ADC board as a digital number in the range of 0-65520 (see Figure 1). The output of the temperature system was sensed by the thermocouples and read by the ADC board of the computer in the range of 0-750 ^{o}C (Fig. 1).

Acknowledgements

Author wishes to thank Reader Dr. D.J. Gunn, for the given opportunity to work in his laboratory and for his valuable supervision and advices during experimental measurements. He also thanks some other staff of Department of Chemical Engineering for their help during experimental work and thanks to Turkish Higher Education Foundation (YÖK) for PhD Scholarship at University Wales of Swansea, Swansea, United Kingdom.

Work performed while the author was at the Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Wales, Swansea, United Kingdom

Nomenclature

ADC	analogue digital converter
CUBIO	digital input/output signals of the computer
DAC	digital analogue converter
DTP	preheater top and bottom temperature difference (^{o}C)
DTR	reactor top and bottom temperature difference (^{o}C)
DV	digital voltmeter
K_P	proportional gain of the preheater
K_R	proportional gain of the reactor
P1	upstream pressure (bar)
P2	downstream pressure (bar)
P(T)	preheater top temperature (^{o}C)

P(B) preheater bottom temperature (^oC)
PS power source
R(T) reactor top temperature (^oC)
R(B) reactor bottom temperature(^oC)
DN digital numbers
Q_f volumetric flowrate of fluid (cm^3/s)
ρ_f density of fluid (gr/cm^3)

References

[1] Yushchenko, T.M.; Korneichuk, G.P.; Usha-Kova-Stasevich, V.P.; Semenyuk, Y.V., 4 (1968) 154.
[2] Barbul, M.; Serhan, G.; Ghejan, I.; Filotti, T., Petrol Gaze, 19 (1968) 181.
[3] Luckner, R.C.; Wills, G.B., J. Catal., 28 (1973) 83.
[4] Bassett, D.W.; Habgood, H.W., J. Phys. Chem., 64 (1969) 769.
[5] Bassett, D.W.; Habgood, H.W., Chem. Inst. of Canada, 44th Annual Meeting, Chem. Can. 13 (1961) 50.
[6] Galeski, J.B.; Hightower, J.W., Can. J. Chem. Eng., 48 (1970) 151.
[7] Blanton, W.A.; Byers, C.H.; Merrill, R.P., Ind. Eng. Chem. Fundam., 7 (1968) 611.
[8] Kokes, R.J.; Tobin, H.; Emmett, P.H., J. Amer. Chem. Soc., 77 (1955) 5860.
[9] Hall, W.K.; Emmett, P.H., J. Amer. Chem. Soc., 79 (1957) 2091.
[10] Keulemans, A.J.M.; Voge, H., J. Catal., 3 (1964) 363.
[11] Dutton, H.J.; Mounts, T.L., J. Catal., 3 (1964) 363.
[12] Danfort, J.D.; Roberts, J.H., J. Catal., 10 (1968) 252.
[13] Hall, W.K.; MacIver, D.S.; Weber, H.P., Ind. Eng. Chem., 52 (1960) 421.
[14] Harrison, D.P.; Hall, W.K.; Rase, H.F., Ind. Eng. Chem., 57 (1965) 20.
[15] Binter, E.D.; Davison, V.L.; Dutton, H.J., J. Amer. Oil. Chem. Soc., 46 (1969) 113.
[16] Akers, W.W.; Camp, D.P., A.I.ChE.J., 1 (1955) 471.
[17] Bodrov, I.M.; Apel'baum, L.O.; Temkin, M.I.; Kinet. Catal., 5 (1964) 696.
[18] Allen, D.W.; Gerhard, E.R.; Likins, M.R., Br. Chem. Eng. Process Technol., 17 (1972) 605.
[19] Ross, J.R.H.; Steel, M.C.F., J. Chem. Soc. Faraday Trans. I., 1 (1973) 10.
[20] Rostrup-Nielsen, J.R., J. Catal., 31 (1973) 173.
[21] Kopsel, R.; Meyer, B., Chem. Techn., 32 (1960) 460.
[22] Munster, P.; Grabke, H.J., Journal of Catalysis, 72 (1981) 279.
[23] Xu, J.; Froment, G.F., AIChE Journal, 35 (1989) 88.
[24] Levent, M., PhD Thesis, University of Wales, Swansea, U.K., (1994).
[25] Cowper, C.J.; Derose, A.J., The Analysis of Gases by Chromatography, Pergamon Press, Oxford, (1983).

ATÖLYEDE KÜÇÜK ÖLÇEKLİ GÜNEŞ MODÜLLERİ ÜRETİMİ İÇİN LAMİNASYON CİHAZI TASARIMI VE İRDELENMESİ

EVALUATION AND DESIGN OF LAMINATION DEVICE TO PRODUCE SMALL-SCALE SOLAR MODULES IN WORKSHOP ENVIRONMENT

Osman ÇİÇEK [a], Mustafa GÖKDAĞ [b], M. Tahir GÜNESER [b],
Erzat ERDİL [b] and Yaşar YETİŞKEN [b]
[a] Araç Rafet Vergili Vocational School of Higher Education, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey,
[a] E-mail: ocicek@kastamonu.edu.tr
[b] Engineering Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey,
[b] E-mails: mgokdag@karabuk.edu.tr; mtguneser@karabuk.edu.tr; erzat.erdil@karabuk.edu.tr; yyetisken@karabuk.edu.tr

Özet

Küçük ölçekli PV modüller LED kullanan trafik uyarı ışıklarından taşınabilir cihazların şarjına kadar pek çok alanda kullanılmaktadır. Bu modüller maliyet bakımından ucuz olma, hafiflik, kolay taşınabilirlik, küçük hacim ve kullanım kolaylığı gibi özelliklere sahiptir. Fotovoltaik modüllerin üretiminde cam ve tedlar malzemeleri arasında Etil Vinil Asetat (EVA) yapıştırıcı malzemesi kullanılarak yapılan laminasyon işlemi hala endüstride kullanılan en yaygın metottur. Bu metot özel bir laminasyon cihazı gerektirir.

Bu çalışmada 10 Wp'e kadar PV modüllerin özel ortam gereksiniminden bağımsız, bilgi ve tecrübe gerektirmeden üretiminin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda, PV modüllerin üretiminin gerçekleştirilebilmesi için bir laminasyon sistemi Solidworks'de tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada vakumla üretim yöntemi ve basınçla üretim yönteminin uygulanabilmesi için elektriksel ve mekanik kısımlar oluşturulmuştur. PV modül üretiminde, vakum yönteminden elde edilen parametrik değerler, vakum yöntemi uygulanmaksızın, basınç yöntemiyle üretimin gerçekleştirilmesinde kullanılmıştır. Her iki yöntemin uygulanmasıyla elde edilen ürünler incelendiğinde, oluşturulan ölçütler doğrultusunda sonuçların birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş pili, PV modül üretimi, laminasyon sistemi, laminatör, atölye.

Abstract

Small-scale PV modules have large area of applications from traffic hazard lights using LEDs to charging portable devices. The importances of small modules are that they are cost effective, light weight, easily portable, less space and easy to use etc. In photovoltaic module production the encapsulation method between glass and tedlar using the ethylene vinyl acetate (EVA) as a potent is still most known and standard method in industry. This method requires a special lamination device.

In this study, It is aimed to design a procedure whereby production of PV modules up to 10 Wp could be realized under ordinary conditions by persons having no prior technical skill. With this goal, a simple to use, lamination system is designed using the Solidworks software program and produced. The electrical and mechanical parts are organized in such a manner that the lamination process could be effected either by using vacuum or high pressure. Both methods are used in preparing PV modules. Visual inspection and performance of modules prepared by either method showed no significant difference.

Keywords: Solar cell, PV module production, laminating systems, laminator, workshop.

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi, beraberinde dünyanın artan enerji ihtiyacının karşılanmasını gerektirmektedir. Günümüzde bu enerji ihtiyacının karşılanmasında ana kaynak olarak fosil yakıtları kullanılmaktadır. Fosil yakıtlarının sınırlı olması, yakın zamanda tükeneceğinin bilinmesi, çevre kirliliğine neden olmaları, ekosisteme büyük zararlar vermeleri gibi nedenlerden dolayı ülkeleri somut önlemler almaya yöneltmiştir. Çevre kirliliği problemleri ile ekonomik değerlendirmeler sonucunda ucuz ve temiz enerji düşüncesi, yenilenebilir enerji araştırmalarının hızını daha da artırmıştır. Özellikle son yıllarda, elektrik enerjisi üretim alanında çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları ile enerji üretimi çok büyük bir önem kazanmıştır. Dünyanın artan enerji ihtiyacının, temiz, ekonomik ve güvenli bir biçimde karşılanabilmesi için yapılan araştırmalar güneş, rüzgar, yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) önemini artırmıştır. Ülkemiz iklim kuşağı olarak bu kaynaklar yönünden zengin olmasına rağmen, toplam enerji üretim miktarı içerisinde dünya ortalamasının çok altındadır [1, 2].

Dünyada güneş enerjisi ile elektrik üreten ülkeler arasında Almanya lider konumunda görünmektedir. Almanya enerji ihtiyacının %7'sini güneş enerjisinden karşılamaktadır. Bu oran her geçen gün artmaktadır. Ayrıca Avrupa Birliği ülkelerinde de güneş enerjisi ile çalışan sistemlere yapılan yatırımlar giderek artış göstermektedir. Türkiye, coğrafi konumu itibariyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli birçok Avrupa ülkesinden çok daha iyi konumdadır. Ülkemizin en fazla güneş enerjisi potansiyeli olan bölgeleri Güney Doğu Anadolu ve Akdeniz bölgesidir. Ülkemizde

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

güneş enerjisinden elektrik üretimi emekleme aşamasında olmasına rağmen, bazı büyük şirketler tarafından yatırımlar da yapılmaktadır. Güneş enerjisi ile elektrik üretiminin yaygınlaşmasında en büyük engeller, kurulum maliyetinin yüksek olması, teknolojik alt yapının yeterli düzeyde olmaması ve güneş pillerinin şimdilik veriminin düşük olmasıdır [3].

Ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretimi; sokak aydınlatması, trafik sinyalizasyonu, baz istasyonu, yerleşim yerlerinden uzak alanlardaki elektrik ihtiyacının karşılanması gibi ağırlıklı olarak şebekeden bağımsız küçük uygulamalar göze çarpmaktadır. Güneşten gelen enerjinin yılın belirli zamanlarında ve günün belirli saatlerinde olması, günün tüm anlarında etkin olmaması en büyük dezavantajıdır. Bu olumsuzluğu gidermek ve kullanımı artırmak için, çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden biri; güneşin etkin olduğu zamanlarda fazla olan enerjinin bataryalarda depolanarak, enerjinin üretilmediği zamanlarda gerekli enerji ihtiyacının karşılanmasını sağlamaktır. Bir diğeri ise yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanıldığı hibrid sistemlerdir. Hibrid uygulamalarda, sürekli bir enerji kaynağı olmayan rüzgar ve güneş enerjileri gibi yenilenebilir enerji kaynakları birlikte kullanılarak, günün büyük bir bölümünde kesintisiz enerji elde edilmesi sağlanmaktadır. LED (Light Emitting Diode) kullanılan trafik işaretleri ve sinyalizasyon uygulamaları, gün ışığının olmadığı zamanlarda enerji ihtiyacını, birinci yöntem kullanarak gerçekleştirmektedir [4].

Çalışmada, trafik işaretleri ve sinyalizasyon için gerekli olan enerji ihtiyacını karşılayacak PV modüllerin özel ortam gereksiniminden bağımsız, bilgi ve tecrübe gerektirmeden herkes tarafından üretilmesi hedeflenmektedir. Özellikle kırsal bölgelerde, elektrik şebekesinin ulaşamadığı alanlarda, yol işaretlerinin aydınlatması ve sinyalizasyonun devamlılığının sağlanmasında, bölge insanının katılımını sağlayarak modül üretimin gerçekleştirilebilmesi için laminasyon sistemi tasarlanacaktır.

Mevcut sistemlerde güneş modülü üretimi, vakum işlemi ile basınç işleminin aynı anda uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Çalışmada ise bu iki yöntem, bir birinden bağımsız uygulanarak küçük ölçekli güneş modülü üretilebilmesi üzerinde durulacaktır.

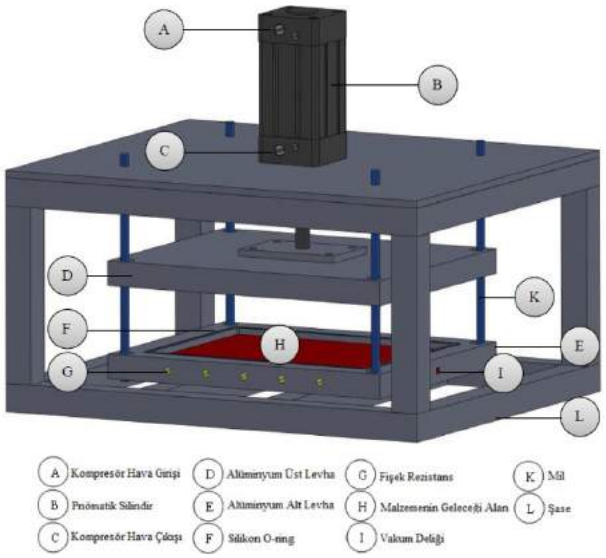
Çalışmaya konu olan laminasyon sisteminde, üretimde uygulanacak yöntemler için elektriksel ve mekaniksel kısımlar oluşturulmuştur. Bu yöntemler, ısıl işlem altında sırasıyla vakum pompası ve basınçlı havanın kullanılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Her iki yöntemde de amaç, PV modülü oluşturan katmanların bir birini kavraması ve katmanlar arasındaki hava odacıklarının (baloncuk) oluşmamasıdır. Basınç yönteminden elde edilen sonuçlar ile vakum yönteminden elde edilen sonuçlar karşılaştırılacak ve değerlendirilmesi sonuç ve öneriler kısmında yapılacaktır. Ayrıca sistemde, PV modül üretimde dış etmenlere karşı koruyucu katman olarak kullanılan sertleştirilmiş cam yerine, temin edilmesi kolay standart pencere camı kullanılarak, istenilen ölçü ve ebatlarda modül üretilmiştir.

2. Laminasyon İşlemi

Laminasyon işlemi, PV hücrelerin dış ortam koşullarına dayanıklı olması amacıyla gerçekleştirilmektedir. Laminasyon işlemi cam-EVA-hücreler-eva-TEDLAR sandviçini birleştirmek üzere ısıl işlem ve bu esnada modülde ortaya çıkan hava baloncuklarının vakumlanması ile tamamlanmaktadır.

2.1. Laminasyon Sisteminin Tasarımı ve Montajı

Mekanik ürünlerin tasarımlarını önemli derecede etkileyen temel özelliklerin belirlenebilmesi için sistemi oluşturan parçalar, Solidworks mekanik tasarım ve otomasyon programında üç boyutlu olarak çizilerek montajı yapılmıştır. Çalışma, öncelikle mekanik ürünlerin tasarım, imalat ve montajını, anlaşmazlık yönetimini, geometri, ağırlık, görünüm ve bunların bir araya gelmesini kapsayacağından, Solidworks programında, çizilen parçaların malzeme cinsi girilerek ağırlığı, hacmi, yoğunluğu gibi mekanik özellikleri elde edilmiştir. Tasarım için belirlenen mekanik parçanın elektriksel ve mekanik özelliklerinin tespit edilmesiyle birlikte elde edilen bilgiler ışığında CNC tezgahında üretimine geçilmiştir. Hedeflenen modül gücünde üretim yapabilmek için Solidworks programı kullanılarak sistem tasarlanmıştır. Solidworks'de oluşturulan sisteme ait görünüm Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Laminatöre ait solidworks tasarımı.

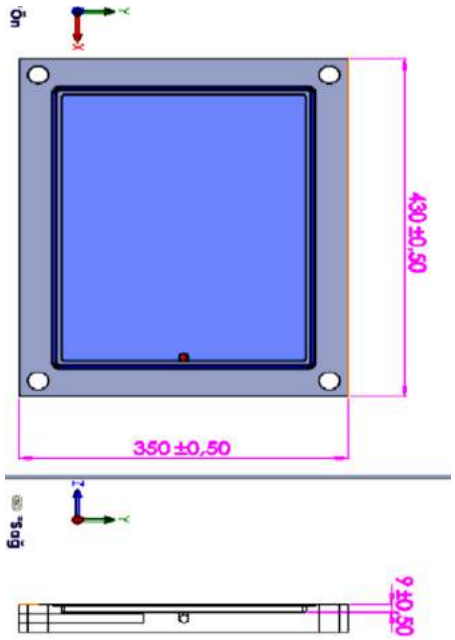
2.2. Sistemde Kullanılan Elemanlar ve Özellikleri

Katı modellemesi gerçekleştirilen sistemin uygun özellikte ve ebatta malzemesi temin edilerek montajı gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan sistem, sandviç yapıya ısının dağıtılması ve basıncın uygulanabilmesi amacıyla alüminyum levhalar, sıcaklığın üretilmesinde fişek rezistans, mekaniksel hareketin elde edilmesinde pnömatik sistem, basınç yönteminde kompresör, vakum yönteminin uygulanabilmesinde vakum pompası ve kontrol ünitesi bulunmaktadır. Burada, kullanılan elamanlar ve özelliklerinden detaylı olarak bahsedilecektir.

3.1. Alüminyum Levha

PV hücrelerin lamine edilmesi için gerekli olan sıcaklığın eşit ve hızlı bir şekilde dağılması ve oluşturulan sistemin taşınılabilir olması amacıyla alüminyum levhalar kullanılmıştır. Sistemde iki adet alüminyum levha kullanılmış olup tasarıma uygun olarak CNC tezgahında işlenmiştir. 430x350x35mm ebatlarındaki alüminyum levha üzerine sandviç yapı için 340x260x9mm ebatlarında havuz ve levha üzerinde hazne ile dış ortam arasındaki hava geçişinin önlenmesi amacıyla 350x270x6mm ebatlarında silikon o-ring için kanal açılmıştır. Ayrıca sıcaklık, alüminyum levha üzerine açılan kanallara yerleştirilecek fişek rezistanslar tarafından sağlanmıştır. Alt alüminyum levhaya ait Solidworks çizimi ve ölçüleri Şekil 2'de görülmektedir.

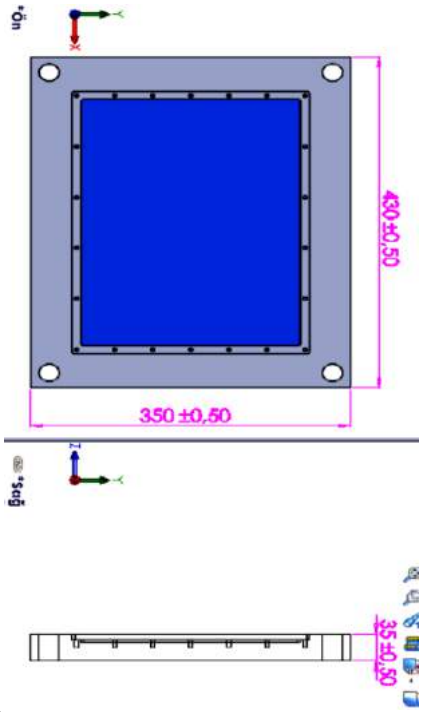
Deneylerde uygulanacak vakum yöntemi ile basınç yönteminin gerçekleştirilebilmesi için alt alüminyum levha üzerine konumlandırılan ikinci bir alüminyum levha sistemde kullanılmıştır. Bu alüminyum levha 430x350x35mm ebatlarında olup, alt yüzeyine silikon levha (Balon) yerleştirilebilmesi için 340x260x8mm ebatlarında havuz açılmıştır. Üst alüminyum levhaya ait Solidworks çizimi ve ölçüleri Şekil 3'de görülmektedir.



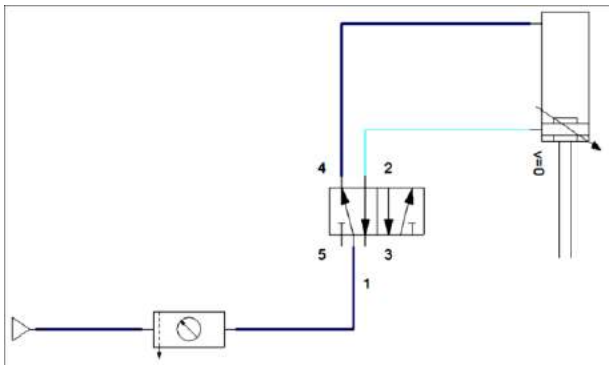
Şekil 2. Alt alüminyum levha Solidworks çizimi ve ölçüleri.

2.3. Pnömatik Sistemin Kısımları

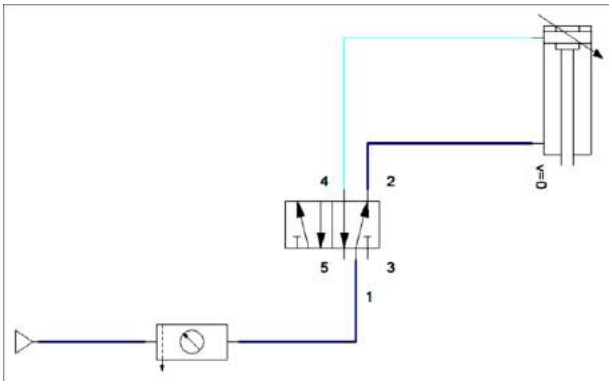
Çalışmada, bir pnömatik hareketlendirici sistem düşünülmüş ve gerekli elemanlar buna göre belirlenmiştir. Sistemde havanın üretilmesi ve hazırlanması amacıyla kompresör, sistemde hava basıncını ayarlamak için regülatör, hareketli parçanın yönünü kontrol etmek için Joystic-yay mekanik kumandalı valf ve piston kullanılmıştır. Laminatörde kullanılan pnömatik sistem, çift etkili bir pnömatik silindir, silindirin piston koluna bağlı alüminyum levha, sistemi kumanda eden valf ve bağlantı borularından oluşmaktadır. Bu pnömatik sistemin aşağı ve yukarı yönlü hareketine ait şematik gösterim Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 3. Üst alüminyum levha Solidworks çizimi ve ölçüleri



Şekil 4. Pnömatik sistem (aşağı yönlü hareket).



Şekil 5. Pnömatik sistem (yukarı yönlü hareket).

2.3.1. Kompresör

Laminatörde, vakum yönteminde istenilen presleme işleminin elde edilmesinde pnömatik sistem için gerekli olan basınçlı hava ve basınç yönteminin uygulanmasında gerekli olan basınçlı havanın üretilmesinde kompresöre ihtiyaç duyulmaktadır.

2.3.2. Vakum Pompası

Tasarlan sistemde, üst alüminyum levhanın alt yüzeyine yerleştirilen silikon levha ile alt alüminyum levha üzerindeki havuz arasında kalan bölge, pnömatik sistemin kapatılmasıyla oluşturulur. Bu bölgeye dış ortamdan hava girişinin olmaması için silikon o-ring kullanılmıştır. Oluşturulan bölgedeki hava taneciklerinin vakum pompasıyla boşaltılarak, dış atmosfere bağlı silikon levha (balon) ile kapalı bölge arasında basınç farkı oluşacaktır. Oluşturulan basınç farkından dolayı, silikon levha tarafından sandviç yapı üzerine basınç uygulanacaktır. Laminatörde, hem sandviç yapı üzerine basıncın uygulanması hem de sandviç yapı içerisindeki hava odacıklarının atılması amacıyla vakum pompası kullanılmıştır.

2.3.3. Pnömatik Silindir

Pnömatik silindirler doğrusal ve açısal hareketlerin elde edilmesinde, pnömatik enerjiyi, mekanik enerjiye dönüştüren kısımdır. Çalışmada gereksinimleri karşılayacak şekilde yapısına göre pnömatik silindirlerden, çift etkili silindir tercih edilmiştir.

2.3.4. Joystick-Yay Mekanik Kumandalı Valf

Pnömatik sistemlerde, kullanılan basınçlı havanın akışına istenilen doğrultuda yön vererek, silindirin istenilen yönde hareket etmesini sağlayan devre elemanlarına yön kontrol valfleri denir. Yapılış biçimleri, kumanda biçimleri, yol ve konum durumlara çeşitli yön kontrol valfleri mevcuttur [5].

Çalışmada kullanılan Joystick-Yay mekanik kumandalı valf, laminasyon sistemindeki pnömatik silindirin aşağı/yukarı yön hareketini sağlaması amacıyla, basınçlı havaya iki konumda geçit verirken kapalı konumda geçit vermez. Burada valfin aşağı, yukarı ve kapalı olmak üzere üç konumu mevcuttur.

2.3.5. BasınçRegülatörü

Çalışmada basınçlı havanın ayarlanabilmesi amacıyla iki adet basınç regülatörü kullanılmıştır. Bunlar, pnömatik sistem ile silikon levha (balon) hava girişlerine uygulanmıştır. Pnömatik sistemin girişindeki basınç regülatörü, basıncı daima ayarlanan değerde sabit tutmak amacıyla kullanılmıştır.

2.4. Silikon Balon

Çalışmada, PV hücrelerin laminasyonun da ve iki farklı yöntemin uygulanmasında silikon balon kullanılmıştır. Bu yöntemlerin birincisi Vakum yöntemi, ikincisi ise Basınç yöntemidir. İkinci yöntem için gerekli olan basınç, silikon levha içerisine doldurulan hava tarafından sağlanmıştır.

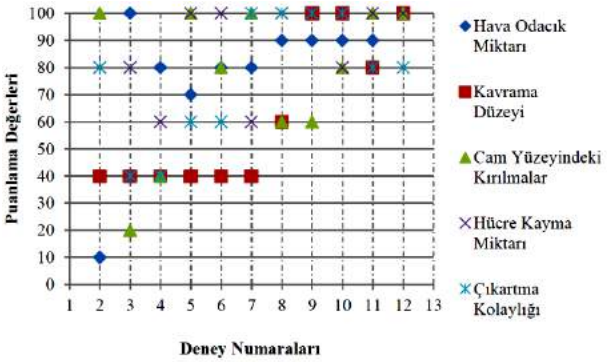
3. Sonuçlar ve Öneriler

Tasarlanan sistem yardımıyla öncelikle deney – 1 olarak ifade edilen deneyde, vakum yöntemi kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Bu deneyden elde edilen parametrik değerler yardımıyla, tasarlanan laminasyon sisteminde ideale yakın sonuçlar elde edilebildiği görülmüştür. Daha sonra, üretim aşamasında sadece basınç işlemi kullanılarak toplam 11 deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler gerçekleştirilirken, basınç, sıcaklık, zaman gibi parametreler üzerinde değişiklikler yapılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Üretimler sonucunda, elde edilen modüller Çizelge 1'de verilen beş ayrı ölçütte değerlendirilmiş ve ilgili ölçütler üretim kalitesi yönünden puanlandırılmıştır.

Çizelge 1'de gösterilen puanlamalarda 100 en iyiyi, 0 ek kötüyü temsil etmektedir. Değerlendirme ölçütlerinden hava odacıklarının miktarı puanlanırken sandviç yapı üzerindeki oluştuğu alan dikkate alınmıştır. Sandviç yapının kavrama düzeyi düşük ise kötü, yüksek gerçekleşmiş ise iyi olarak değerlendirilmiştir. Cam yüzeyindeki kırılmalar, oluştuğu miktarın çokluğuna göre değerlendirilmiştir. Güneş gözelerindeki kayma miktarı çok fazla ise kötü, kayma meydana gelmemiş ise en iyi olarak değerlendirilmiştir. Çıkartma ölçütündeki puanlama işlemi, sandviç yapının hazneden çıkartılırken yaşanan zorluk derecesine göre belirlenmiştir. Bu puanlama değerleri ve puanlama yapılan ölçütler Şekil 6'da grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ölçütlere göre puanlama değerleri

Deneyler	Hava Odacık Miktarı	Kavrama Düzeyi	Cam Yüzeyindeki Kırılmalar	Hücre Kayma Miktarı	Çıkartma Kolaylığı	Aritmetik Ort.	Geometrik Ort.	Harmonik Ort.
Deney 2	10	40	100	80	80	62,00	48,04	31,25
Deney 3	100	40	20	80	40	56,00	48,04	40,82
Deney 4	80	40	40	60	40	52,00	49,83	48,00
Deney 5	70	40	100	100	60	74,00	69,99	65,83
Deney 6	80	40	80	100	60	72,00	68,75	65,22
Deney 7	80	40	100	60	100	76,00	71,89	67,42
Deney 8	90	60	60	100	100	82,00	79,82	77,59
Deney 9	90	100	60	100	100	90,00	88,41	86,54
Deney 10	90	100	80	80	100	90,00	89,55	89,11
Deney 11	90	80	100	100	80	90,00	89,55	89,11
Deney 12	100	100	100	100	80	96,00	95,64	95,24

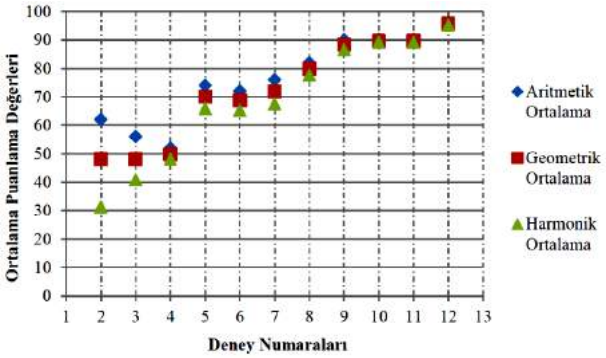


Şekil 6. Deneylere ait puanlama ölçütleri.

Yapılan puanlamalar kullanılarak ilgili deneylerin başarı oranlarını belirlemek üzere aritmetik, geometrik ve harmonik ortalamalar hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler Şekil 7'de grafiksel olarak gösterilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü gibi en verimli üretimin, ortalama işlemlerine ait sonuçların yüksek değerlerde yoğunlaşan deney – 12'de olduğu görülmüştür.

Ayrıca deney– 10 ve deney– 11'den elde edilen sonuçlar, deney – 12'ye en yakın sonucu vermiştir. Fakat deney 10'da oluşan kırılma istenmeyen bir durum oluşturduğundan tercih edilememektedir. Deney 11 ise,

kavrama düzeyi deney – 12'e göre daha düşük olmuştur. Deney – 12'de kullanılan sıcaklık parametreleri, deney – 11 için kullanılırsa daha düşük basınç altında tercih edilebilir kalitede üretim gerçekleştirilebilir.



Şekil 7. Puanlama ölçütlerinin değerlendirilmesi.

Gerçekleştirilen denemeler sonucunda, geliştirilen laminasyon sistemi, deney – 12'de elde edilen üretim aşamaları kullanılarak küçük ölçekli PV modül üretimini gerçekleştirebilmektedir. Bu da üretimin yer ve mekandan bağımsız herkes tarafından gerçekleştirilebilmesine imkan sağlamaktadır. Elde edilen sonuçlar ışığında kompozit malzemeler kullanılarak mevcut ölçülerde daha hafif ve kolay taşınabilen laminasyon sistemleri tasarlanabilir. Ayrıca basıncın uygulanması noktasında kullanılan destek malzemelerinin yüzölçümü küçültülerek sistem daha da hafifletilebilir. Laminasyon sisteminde kullanılan basınç değerleri kolay elde edilebilir sınırlarda tutulması daha sonraki çalışmalarda farklı basınç kaynakların kullanımına imkan sağlamıştır.

Kaynaklar

[1] Demirtaş, M., Bilgisayar kontrollü güneş takip sisteminin tasarımı ve uygulaması, Politeknik Dergisi, vol. 9, no. 4. pp. 247–253,2006.

[2] Sefa, İ. ve Altın, N., Güneş pili ile beslenen şebeke etkileşimli eviriciler – genel bir bakış, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.,vol. 24, no. 3. pp. 409–424, 2009.

[3] Tekin, S. A., Ercan, H., ve Alçı, M., Fotovoltaik panellerde gerçekleştirilen elektrik üretim ve bir aydınlatma uygulaması, GÜFBED/GUSTIJ, vol. 1, no. 2. pp. 177–184, 2011.

[4] Aktacir, M. A.,Yeşilata, B. ve Işıker, Y., Fotovoltaik-rüzgâr hibrid güç sistemi uygulaması, Yeni Enerji Yenilenebilir Enerji Teknolojileri, vol. 3. pp. 56–62, 2008.

[5] Aykaç, E. S.,Pnömatik – hidrolik, Tasarım ve İmalat Komisyonu Kitapçığı, TMMOB, Makina Mühendisleri Odası Dergisi, Ankara, pp. 16–17, 2011.

RECYCLING DESIGN OF E-WASTE SLUDGE FOR SAFE DISPOSAL

Tahir Imran QURESHI
Department of Chemical Engineering, NFC-Institute of Engineering and Technology, Multan, Pakistan
Email: tahirimran@nfciet.edu.pk

Abstract

This study was conducted to look into possibilities of the recycling of electronic waste (e-waste) sludge as additive in asphalt concrete mix materials. Specimens of varying compositions of asphalt and e-waste sludge of cathode-ray-tube's (CRT) manufacturing unit were prepared following standard operating procedures. Stability, flow rate, porosity and density of the recycled product were optimized corresponding to Korean Constructional Industry Standards. Performance of mix design specimens was evaluated in accordance with Marshall Properties Test. An optimum value of sludge was determined that could be recycled in asphalt concrete mix without causing damage to the engineering characteristics of the asphalt concrete mix material. Contaminants of heavy metal ions and other toxic chemicals in the leachate of prepared specimens were analyzed and found below permissible limit. Therefore, it was suggested that entire sludge could safely be recycled in asphalt concrete mix materials as additive. Recycled product could successfully be utilized in meeting increasing demands of constructional materials.

Keywords: E-waste management, Hazardous sludge, Marshall Method, Stabilized product.

1. Introduction

Owing to rapid growth of electronic industries in recent years, handling of subsequent increased amount of e-waste sludge has become a serious matter of concern to deal with. Landfilling as one of the alternatives of sludge management does not support the idea of sustainable development due to prevailing space constraints. Also, disposal of this sludge to landfill incurs local cost and could be a potential source of soil and possibly groundwater aquifer contamination [1-3]. Therefore, search to recycle e-waste sludge has been an imperative motive in reducing pollution burdens on the environment.

Cathode-ray-tube manufacturing units include extensive finishing and abrasion operations producing a lot of amount of hazardous sludge that contains Garnet, Pumice and Cerium Oxide. These are silicate based hardened volcanic rock type materials having cement like strength giving characteristics [4]. They are chemically very stable and non-biodegradable materials and can be utilized as additive/fillers in asphalt concrete mixture or in other constructional materials [5-6]. Asphalt concrete, a mixture of bitumen and aggregates, is a sensitive material compared to other configurations used in civil engineering. Therefore, recycling of this sludge as additive in asphalt concrete mixture should not be at the cost of reducing performance of asphaltic pavements.

Recently, researchers have been trying recycling of different waste materials for improved performance of asphalt concrete mix. In this concern, different literature reviews illustrated that the use of additives in asphalt involved pursuing three dissimilar targets: mechanical improvement, preparation of environment friendly materials, and creation of new market for waste management [7-8]. Recycling of waste sludge in asphalt concrete mix consists of incorporating certain binders having some desired properties which lack in asphaltic materials. It includes randomly direct inclusion of additives into the matrix, i.e., asphalt concrete and/or Portland Cement Concrete slabs [9-10]. Another study revealed that the use of recycling of polymer type binders made both the strength and permeability of porous asphalt mix double and developed good resistance to aging and fatigue cracking [11].

Therefore, purpose of the study was to confirm possibilities of utilizing e-waste sludge as additive/filler in asphalt concrete mix so that potential recycling of entire sludge could be attained. Through recycling, an environment friendly material of required strength should be prepared that is desired to meet increasing future demands of constructional materials in the country.

2. Material and Methods

2.1. Mix design preparation

The mix designs were prepared to determine the optimum amount of bitumen and additive contents in the sample used as asphaltic pavement materials. There are many methods available for mix designs which vary in size of the test specimens, compaction, and other test specifications [12]. Marshall Method of mix design, the most popular one, was applied in this study.

Samples were prepared following methods KS (Korean Constructional Industry Standard, F 2337) and ASTM (American Society for Testing Materials, D1559) [13]. To confirm their effectiveness, they were analyzed for the parameters including density, Marshal Stability, Marshal Flow Value, Marshall Porosity and degree of saturation [14]. Based on the results, optimum amount of asphalt contents in the mix that met standards of Marshal Properties was determined.

1500 gm of aggregates and CRT sludge/additive was heated to a temperature ranged 175 – 190 °C. Bitumen was heated at around 125 °C with the first trial percentage of bitumen (4.0% by weight of the mineral aggregates). The heated aggregates and bitumen were thoroughly mixed at a temperature around 160 °C. The mix was placed in a pre-heated mould and compacted by a

© ISIDE14, Karabük University, Karabük, Turkey

hammer with 50 blows on either side at around 140 – 150 °C.

Specimens were prepared with varying weight of mixed aggregates so as to obtain a compacted thickness of 63.5 +/- 3 mm. In the following trials, bitumen contents were gradually increased by 0.5% in the mix. Percentage of air void and degree of saturation were measured by height, dry weight, submerged unit weight and weight in saturated dry surface conditions of prepared specimens [15]. After water-logging in constant temperature water bath (60 ± 1.0 °C) for about 30 minutes, the moulds were loaded in Marshal Test setup as shown in Fig. 1. Based on the results, a range of Asphalt contents which satisfied respective Marshal Standards was determined and an intermediate value of common range was taken as an optimum value of asphalt contents.

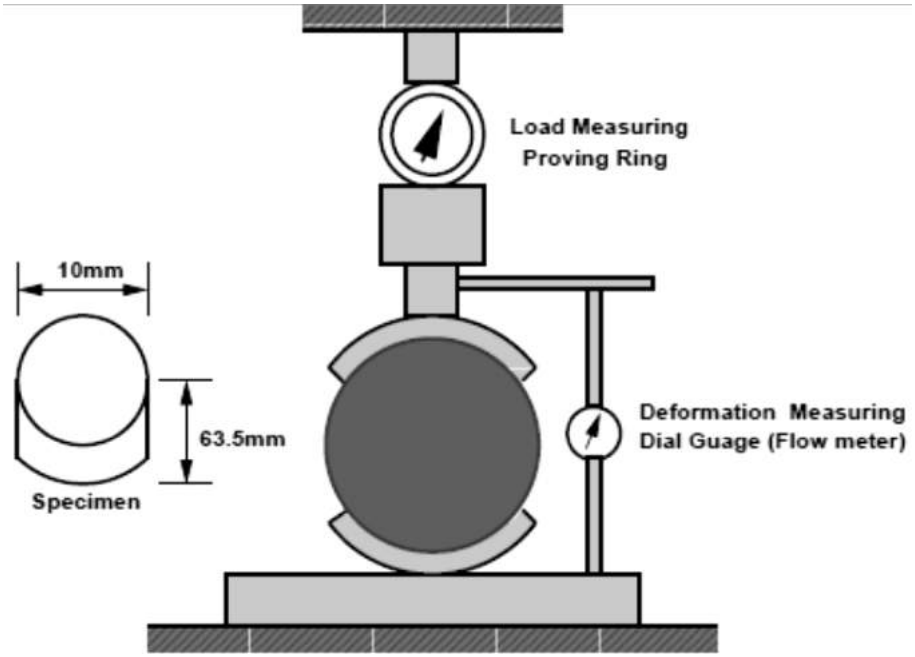


Fig. 1. Marshall test setup.

2.2. Leaching test

Leaching characteristics of the samples were determined by Toxicity Characteristics Leaching Procedure (TCLP) technique. It is a common method of US-EPA to determine mobility of organic or inorganic contaminants existing within liquid, solid and other specified waste [16]. The TCLP is designed to determine mobility of 40 Toxicity Characteristics (TC) constituents in liquid, solid and multiphase wastes. The TCLP specimens were first crushed to the size between 5-50 mm. The crushed waste specimens in pH-adjusted water (4.93 ± 0.05) were shaken for 18 hours on a magnetic stirrer in a composition (solid/liquid = 1:20 by weight). The supernatant was filtered through cellulose nitrate membrane filter (0.1-0.8 μm) and heavy metal ions concentration in the filtrate was measured using an atomic absorption spectrophotometer (Varian Spectra AA-800, Japan).

3. Results and Discussion

3.1. Marshal Stability and flow value

The Marshal Stability and flow test provide performance prediction measures for the material of mix design. Stability portion of the test measured the maximum load supported by the test specimen at a loading rate of 50.8 mm/minute. Load was applied to the prepared specimen till failure and found that stability at 6% asphalt contents was the highest at a value 967 kg (Table 1). It started decreasing as the asphalt contents increased from 6.0%.

Table 1 Analysis of optimum asphalt content mix design.

Items	Results	Standards
Marshall Stability, kg	967	>500
Flow rate, (0.25 mm)	33	20 ~ 40
Porosity (%)	4	3 ~ 6
Saturation (%)	78	70 ~ 85
Density (g/cm^3)	2.317	-
Optimum asphalt contents (%)	6.025	-

During loading, an attached dial gauge measured changes in the specimen's plastic flow (vertical deformation) with gradual increase in the load. The flow value was recorded in 0.25 increments at the same time when the maximum load was determined. At the range of 5-6.5% asphalt contents, the Marshall flow value of the specimen was recorded between 20~40 mm. As the asphalt contents increased from 7%, the flow value exceeded from standard limit. Therefore, 33 mm was found the most suitable flow value corresponding to 6% asphalt contents in the specimens (Table 1). Since mixes with very high stability value and low flow rate are not desirable as the pavement

constructed with such mixes are likely to develop cracks due to heavy moving loads [17].

3.2. Density of asphalt mix

Density is one the most important parameters in construction of asphalt concrete mixtures. A properly designed mixture should contain enough air voids to prevent rutting due to plastic flow but low enough air voids to prevent permeability of air and water. Density of the asphalt mix kept on increasing with the addition of asphalt contents ranged (5.0~6.025%). As the asphalt contents increased beyond 6%, density started reducing (data not shown). Highest density (2.317 gm/cm^3) was recorded at a value of asphalt contents 6.025% (Table 1).

3.3. Marshall porosity

At a range of 5~7% asphalt content, porosity was found between 3 and 6%. The porosity at 6% asphalt content was optimized at 3.9% that was in corresponding to the KS specified value (Table 2). At a value, between 5.5~7% asphalt contents, Marshall Saturation was ranged to 78% that corresponds to KS. As the asphalt contents reduced below 5%, Marshal Saturation was exceeded to the standard. Therefore, 6.5% asphalt contents was suitable for Marshall Saturation of the mix design (Table 2).

Table 2 Results of Marshall Test characteristics.

Categories	Standards	Asphalt contents conformed to standard (%)
Marshall Stability, kg	>500	5.0~7.0
Flow value (1/100 cm)	20~40	5.0~6.75
Percent air void in the mix, Porosity (%)	3~6	5.0~7.0
Void filled with bitumen, Saturation(%)	70~85	5.50~7.0

3.4. Optimum values of asphaltic and additive contents

The optimum binder contents for the mix design were determined by taking average value of the bitumen contents as under;

- Binder contents corresponding to maximum stability.
- Binder contents corresponding to maximum bulk specific gravity.
- Binder contents corresponding to the median of designed limit of percent air voids in the total mix.

Optimum value of asphalt contents, i.e., 6% was determined as median value calculated from the lowest limit of saturation and upper limit of flow rate.

Optimum asphalt contents (%) = 5.30 + 6.75/2 = 6.025%.
In asphalt concrete specimen, limestone powder occupying 3.8% in total mix proportion was substituted with CRT sludge. Table 3 shows an optimum mix proportion of the prepared specimens.

Table 3 Proportion of prepared specimens with waste sludge in 100 % mixture.

Composition	Original Mix Proportion (%)	Modified Mix Proportion (%)
Coarse aggregate	40	37.6
Crushed Fine Aggregate	45	42.3
Fine Aggregate	11	10.3
CRT Sludge (Filler in Asphalt Concrete Pavements)	4	3.8
Asphalt for Pavements	-	6.0
Total	100	100

3.5. Leaching Characteristics

Leaching tests of the specimens were conducted in order to evaluate potential mobility of heavy metal ions leached out from asphalt concrete mix material. The tests showed that all the nine categories of heavy metal ions and toxic chemical tested were found below permissible limit in the leachate (Table 4). Therefore, it is determined that the recycling of CRT sludge as filler in asphalt concrete mix has no potential of soil or groundwater contamination and could be taken as environment friendly materials.

Table 4 Leaching potential of sludge mixed specimens.

Items	Standard (ppm)	Result
Cu	3.0	ND*
Pb	1.0	ND
Cd	0.3	ND
Cr+6	1.5	ND
CN	1.0	ND
As	1.5	ND
Hg	0.005	ND
Trichloroethylene	0.3	ND
Tetrachloroethylene	0.1	ND

*Not detected

4. Conclusion

A recycled product of mixing CRT sludge and asphalt concrete material that meets characteristics of Marshall Standards could be prepared by employing an optimum value of asphalt contents 6.0% and CRT sludge 3.4%. At 6.0% asphalt contents, Marshall Stability was the highest at a value 967 kg while 33 mm was found the most suitable flow value. Marshall Porosity (3.9%) and density (2.31%) of the prepared specimens were also found corresponding to the standard. In optimal mix, lime stone powder could be substituted by 3.8% of CRT sludge in total proportion. Contaminants of heavy metal ions including Cu, Pb and others in the leaching test were found below detection limit. Therefore, waste sludge of CRT manufacturing units could successfully be recycled as additive in the preparation of asphalt concrete mix

materials that meets standards of design and safe disposal.

References

[1] Townsend, T., Environmental issues and management strategies for Waste Electronic and Electrical Equipment (WEEE), *J. Air Waste Manage.*, 61, 587-597, (2011).

[2] Martin M., William I.D. and Clark M., Social, cultural and structural influences on household waste recycling: A case study, *Res. Conserv. Recycl.*, 48 (4), 357-395, (2006).

[3] Deshmukh K.K., Evaluation of groundwater pollution of Sangamner area, Ahmednagar District, Maharashtra, India, *J. Environ. Res. Develop.*, 7 (1), 10-23, (2012).

[4] Pozzi P., Taurino R., Zanasi T., Andreola F., Barbieri L. and Lancellotti I., New polypropylene/glass composite: Effect of glass fibers from cathode ray tubes on thermal and mechanical properties composite Part A, *Appl. Sci. Manuf.*, 41 (3), 435-440, (2010).

[5] Choi G.S., Interpretation and application of test of materials for civil engineering. *Hyoung Sul, Seoul*, 120, 818, (2001).

[6] Aggarwal V., Gupta S.M. and Sachdeva S.N., High volume fly ash concrete: A green concrete, *J. Environ. Res. Develop.*, 6 (3A), 884-887, (2012).

[7] Hugo M., Silva R.D., Voel R.M. and Oliveira C., Are totally recycled hot mix asphalts a sustainable alternative for road paving, *Res. Conserv. Recycl.*, 60, 38-48, (2012).

[8] Nnorom I.C., Osibanjo O. and Ogwuegbu M.O.C., Global disposal strategies for waste cathode ray tubes, *Res. Conserv. Recycl.*, 55 (3), 275-290, (2011).

[9] Su K., Hachiya Y. and Maekawa R., Study on recycled asphalt concrete for use in surface course in airport pavement, *Res. Conserv. Recycl.*, 54 (1), 37-44, (2009).

[10] Rai A.K, Paul B and Sing G., A short note on the characterization of fly ash from Chandrapura Thermal Power Station, Bokaro, Jharkhand, India, *J. Environ. Res. Develop.*, 6 (1), 139-144, (2011).

[11] Abtahi S.M., Sheikhzadeh M. and Hejazi S.M., Fiber-reinforced asphalt-concrete: A review, *Constr. Build. Mater.*, 24 (6), 871-877, (2010).

[12] Qingbo Xu., Guangming Li., Wenzhi He., Juwen H. and Xiang Shi., Cathode ray tube (CRT) recycling: Current capabilities in China and research progress, *Waste Management*, 32 (8), 1566-1574, (2012).

[13] Korean Constructional Industry Standards (KS), Testing Methods for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixture using Marshall Apparatus. KS F 2337, (1995).

[14] Ozgan E., Artificial neural network based modeling of the Marshall Stability of asphalt concrete, *Exp. Syst. Appli.*, 38 (5), 6025-6030, (2011).

[15] Ranadive M.S. and Tapase A.B., Improvement in strength of flexible pavement: An experimental approach, *J. Environ. Res. Develop.*, 6 (3A), 844-852, (2012).

[16] Qureshi T.I., Lee B.K., Kim Y.J. and Kim, J.H., Comparative study on the leaching characteristics of industrial sludge and fly ash using KSLP and TCLP techniques, *J. Chem. Soc. Pak.*, 32 (6), 453-461, (2010).

[17] Yot P.G. and Mear F.O., Characterization of lead, barium and strontium leachability from foam glasses elaborated using waste cathode ray tube, *J. Haza. Mater.*, 185 (1), 236-241, (2011).

SUDAN AL HALFAIA ÇELİK KÖPRÜ İMALATI ÜZERİNE BİR DEĞERLENDİRME

AN ASSESMENT ON SUDAN AL HALFAIA STEEL BRIDGE PRODUCTION

K. Kenan SUNGUR [a], Ahmet COŞKUN [b], Mustafa Refik METLİOĞLU [b*], Pelin G. ÖZDEMİR [b], Mutlu UZUN [b]

[a] Kardemir-Karçel A.Ş, 78170, Karabük, E-posta: ksungur@karcel.com.tr,

[b] Kardemir-Karçel A.Ş, 78170, Karabük, E-posta: acoskun@karcel.com.tr; refik@karcel.com.tr; pgurkan@karcel.com.tr; mtlznu@karcel.com.tr

Özet

Dünya coğrafyasında yaşayan toplumların istek ve ihtiyaçları her geçen gün biraz daha artmaktadır. Sanayi ve teknolojideki gelişmeler ise bu istek ve ihtiyaçların yerine getirilmesinde bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Teknolojinin hayatımızı her anlamda kolaylaştıracak ürünler ortaya koyması sonucu büyük endüstriyel tesisler/yapılar daha kısa zamanda ve düşük maliyetler ile yapılabilir hale gelmiştir. Nehirler, sarp vadiler vb. geçmekte kullanılan köprüler de teknolojik ekipmanların gelişim sürecinden etkilenmiş olup büyük açıklıklar bu sayede geçilmiştir. Kimi zaman betonarme yapıları kimi zaman da çelik yapı kullanmak suretiyle bu yapılar toplumların hizmetine sunulmuştur. Bu nedenle bu çalışmada, çelik konstrüksiyon gövdeye sahip köprü kiriş imalatlarının yapım süreci ve süreçte dikkat edilmesi gereken konuların önemi üzerine bir değerlendirme yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Köprü imalatı, Çelik yapı, imalat.

Abstract

The wishes and needs of the communities living on the world are increasing with each passing day more and more. The developments at the industry and technology emerges as a tool for satisfying these needs. As a result of the technology making the products facilitate our lives in every sense, making the large industrial facilities / structures in a shorter time and with lower costs have been possible. The bridges for the rivers, steep valleys and so on were affected from the development processes of technological equipments thus, the remote gaps has been crossed. These structures have been presented to the service of societies sometimes through the use of reinforced concrete structures and sometimes steel structures. Therefore, in this study an assessment has been made about the significance of manufacturing process of the steel construction beams and the issues needs to take into consideration during the manufacturing process.

Keywords: Bridge production, Steel construction, Manufacturing.

1. Giriş

Gelişmiş ülkelere bakıldığında, kendi bulundukları coğrafyada ulaşıma verdikleri önemi görmek hiç de zor değildir. Ekonomik olarak gelişmiş olmalarının bir sebebi de bulundukları coğrafyada, malzeme transport giderlerinin minimuma çekilmesidir. Hammaddenin endüstriyel tesislere en kısa zamanda ulaştırılmasından başlayarak insan nüfus hareketlerine kadar her alanda köprüler hayatın vazgeçilmez unsurları arasında yer almıştır. Bu sebeple çelik köprüler; kullanım ömrünün uzun olması ve daha özgün tasarımların yapılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Yarım yüzyıldır bilinen integral köprü uygulamaları yaygın olarak kullanılmaya devam edilmekte olup en önemli avantajı, düzenli bakım yapılmasının gerekli olmamasıdır. Dünyadaki en uzun nehir olan Nil nehri (6670 km)'nin Beyaz Nil ve Mavi Nil olarak adlandırılan kolları Sudan'ın başkenti Hartum bölgesinde birleşmektedir. Artan nüfus ve trafik yoğunluğu sebebiyle nehir üzerine çelik köprü projesi hayata geçirilmiştir [1]. Ülke 2011 yılında Sudan ve Güney Sudan olarak ikiye ayrılması sebebiyle yüzölçümü bakımından Afrika'nın en büyük ülkesi olma özelliğini Cezayir'e bırakmış olup 30,9 milyon nüfusuyla dünyada 40. sıradadır. Sudan'ın başkenti Hartum'da şehir nüfusu yaklaşık 3 milyon civarındadır [2].

2. Çelik Köprülerin Tarihçesi ve Çeşitleri

Tarihte ilk demir köprü İngiltere de "The Coalbrookdale Köprüsü" 1779 yılında yapılmıştır (Şekil 1). Yaklaşık 30 m açıklığa sahip köprüde font demir kullanılmış olup, bu köprü halen kullanılmaya devam etmektedir [3]. Çelik köprüler;

- Kiriş Köprüler
- Kafes Kiriş Köprüler
- Konsol Kiriş Köprüler
- Kemer Köprüler
- Asma Köprüler
- Hareketli Köprüler olmak üzere altı gruba ayrılır [4].

3. Proje Bilgileri

Proje Adı ve Yeri: Al Halfaia Köprüsü, Hartum-Sudan
İşveren : Yapı Merkezi İnş. Ve San. A.Ş
Tasarım : Yapı Merkezi-Türkiye, SchüBler-Plan Ing. Mbh - ALMANYA

© ISIDE14, Karabük Üniversitesi, Karabük, Türkiye

Toplam Köprü Uzunluğu : 910 m
Köprü Genişliği : 2x13,50 m=27 m
Şerit adedi (her bir yönde): 3 şerit
Kutu Kiriş malzeme kalitesi: S355J2G3,
Yapma İ Kirişler : S355J2G3 [1].

Şekil 1. The Coalbrookdale Köprüsü [5].

Karçel A.Ş fabrika imalat aşamaları şu şekildedir;

a) Hazırlama
b) Birleştirme (çatım ve kaynak)
c) Tahribatsız muayene
d) Boya ve sevkiyat olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır.

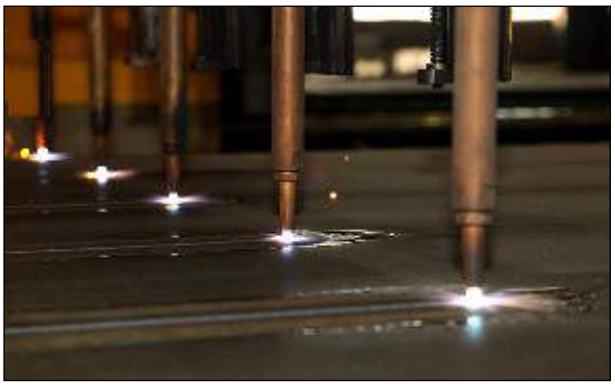
AL Halfaia Projesinde, ana taşıyıcı kirişler dışında kalan bağlantı elemanları standart hadde ürünü yapısal çelikler kullanılarak imal edilmiştir.

3.1. Hazırlama aşaması

Proje için temin edilen sac levhalar (S355JR2G3 kalite saclar) ile standart hadde ürünü profiller; şartname gereği Sa2½ yüzey kalitesi düzeyine gelecek şekilde yüzey kumlama işlemine tabi tutulmuş ve sonrası shop-primer boya uygulaması yapılmıştır (Şekil 2).

Şekil 2. Kumlama Tezgâhı fotoğrafı.

Projenin sorunsuz şekilde hayata geçirilmesinde kesme ölçülerinin ve sehim miktarının iyi ayarlanması gerekliliği göz önünde bulundurularak kiriş imalatına girecek sac levhalar, CNC Plazma ve Oksijen kesme tezgâhlarında proje ölçülerinde kesilmiştir (Şekil 3).



Şekil 3. CNC kesme makinası

3.2. Birleştirme (Çatım ve Kaynak) Aşaması

Çatım işlemine başlanmadan gerekli kaynak ağız hazırlıkları oksi-gaz ve mekanik kaynak ağzı açma makinaları ile proje kapsamında AWS D 1.5 (Bridge Welding Code) standardına göre yapılmıştır.

İmalat grupları Kutu ve Yapma profil çatımlarını, projede belirtilen ölçülerde ön birleştirmesini yapmış ve kalite kontrol biriminin onayı sonrası kaynak işlemine başlanmıştır.

3.2.1. Kaynak işlemi

Ana gövdeler Toz altı Kaynak Yöntemi (Submerged Arc Welding) ile takviye bağlantıları ise Gaz altı (özlü tel ile MAG) kaynak yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 4). Kaynak teli ve tozu ana malzemeye uygun olarak tedarik edilmiştir. Kaynak tozları kullanım öncesinde 300 ^{0}C sıcaklıkta 2 saat süre ile kurutulmuştur. Tozaltı ark kaynakları iç köşe kaynağı olarak ve PA pozisyonunda gerçekleştirilmiştir.

3.2.2. Saplama (Stud) Kaynağı

Köprü kirişleri üst flanşında bulunan saplamalar, Nelson marka kaynak makinası ile kaynaklanmıştır (Şekil 5). Kaynak öncesi saplamaların kaynaklanacağı yerler markalandıktan sonra yüzeyler taşlama ile astar boyadan temizlenmiştir. Kaynak sonrası saplamaların kalite kontrolü eğme testi gerçekleştirilmiştir.

3.2.3. Delme işlemi

Bağlantı elemanlarının delikleri (standart profiller) radyal matkaplar ile toleranslar içerisinde yapılmıştır (Şekil 6).

3.3. Tahribatsız Muayene

Kaynaklı imalatı gerçekleştirilen kirişlerin tamamı TS EN 970'e göre göz ile muayene edilmiş ve kaynak üzerinde kabul standardının şartlarını sağlamadığı durumlarda ilgili standarttaki talimatlara göre kısmen açılarak tamir edilmiştir. Ayrıca kaynaklı kirişlerin hassas bölgeleri (WPAR'a göre) sıvı penetrant muayenesi ve ultrasonik muayeneye tabi tutulmuşlardır.

3.4. Boya ve Sevkiyat Aşaması

İmalat sonrası Kalite kontrol aşamasından geçen Köprü kirişleri boyama işlemine tabi tutulmuştur (Şekil 7). Boyama prosesi; astar-arakat-sonkat olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İşlemler esnasında ortamın nem durumu göz önünde bulundurularak, sağlanamadığında gerekli önlemler alınmıştır.

Tamamlanan köprü kirişleri paketlenmek suretiyle sevkiyata hazır hale getirilmiştir. Karçel A.Ş fabrikası ulusal demiryolu şebekesine bağlı bir işletme olup, tamamlanan imalatlar Demiryolu ile Derince ve İskenderun limanlarına gönderilmiş (Şekil 8) ve montajı tamamlanan köprüye ait fotoğraf aşağıda yer almaktadır (Şekil 9).

Şekil 4. Tozaltı kaynağı ve çatımı yapılan kutu kiriş.

Şekil 5. Kaynaklanmış saplama fotoğrafı.

Şekil 6. Delme tezgâhı.

Şekil 7. Boyama işlemi fotoğrafı.

Şekil 8. Sevkiyat.

Şekil 9. Montajı tamamlanmış köprü.

4. İmalatın Zorlukları

Proje kapsamında kullanılan taşıyıcı kirişlerin tamamının yapma profil ve boyutsal ölçülerin büyük olması proje uygulanabilirliği açısından (çatım-kaynak-boya ve sevkiyat süreçleri) yeterli donanıma sahip olan Karçel A.Ş de problemsiz bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

5. Sonuçlar

- Uluslararası büyük bir proje, tamamen yerli teknolojiler kullanarak KARÇEL AŞ. bünyesinde sorunsuz bir biçimde gerçekleştirilebilmektedir.
- İmalatı gerçekleştirilen kirişlerde fazla miktarda düzeltme gerekmemesi, konstrüksiyonda iç gerilmelerin ve çarpılma/distorsiyonların az oluştuğunu göstermiştir.
- Bu tür büyük imalatlar, firmaların rekabet gücünü ve tanınabilirliğini göstermek için büyük bir fırsat olarak değerlendirilmelidir.
- Yapılan köprünün sorusuz bir şekilde tamamlanması, uygulamanın yapıldığı ortamın, donanım ve kaynak yöntemlerinin doğru seçildiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.
- En önemlisi, imalatı gerçekleştirilen bu köprüde; işçisinden, mühendisinden en üst düzey yöneticisine kadar tüm çalışanların işlerine sahip çıktığı sonucuna varılabilir.
- Bundan sonra KARÇEL'den beklenen, daha büyük bir projenin tamamen öz kaynaklar kullanılarak (proje mühendisi, imalat mühendisi ve kaynak mühendisi), tasarım aşamasından başlanarak servis şartlarında montajının yapıldığı bir "özünden sonuna" imalat olmalıdır.

Kaynaklar

[1] Çelik Yapılar, Türk Yapısal Çelik Derneği, s. 16-25, Ağustos 2010.

[2] http://tr.wikipedia.org/wiki/Hartum (Erişim Ocak 2014).

[3] Yardımcı, N., Çelik Yapıların Tasarımı, Sakarya Üniversitesi Sunum, 17.12.2010.

[4] http://tr.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6pr%C3%BC (Erişim Ocak 2014).

[5] http://petergshilstonsblog.blogspot.com.tr/2011/02/ironbridge.html (Erişim Ocak 2014).

HACİM KRİTERİNE GÖRE MATRİS TEMELLİ MONTAJ SIRASI PLANLAMA SİSTEM TASARIMI

MATRIX-BASED ASSEMBLY PLANNING SYSTEM REGARDING VOLUME CRITERION

Özkan ÖZMEN [a], Tolga ÖZEN [b], Cem SİNANOĞLU [c]
[a, b] Erciyes Üniversitesi, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye,
E-posta: ozmen@erciyes.edu.tr; csinan@erciyes.edu.tr
[b] Yazılım Fonksiyonel Yönetimi Şube Müdürlüğü, Türk Hava Kuvvetleri, Ankara, Türkiye, tolgano@gmail.com

Özet

Bu çalışmada, montaj sistemlerinde uygun montaj sıralarını belirlemek için geliştirilen matris temelli montaj sırası planlama yaklaşımı kullanılmış ve uygun montaj sıraları içerisinden hacim optimizasyon kriterine göre optimum sıranın bulunması hedeflenmiştir. Günümüzde kullanılan bilgisayar destekli tasarım programlarında otomatik montaj sıra planlayıcısı mevcut değildir. Geliştirilen yazılım, AutoCAD çizim uzayında montaj sisteminin parçalarını belirleyebilmekte ve parçalar arasındaki ilişkileri matris formatında otomatik olarak temsil etmektedir. Sonrasında matris temelli montaj sırası planlama metoduna göre parçalara çeşitli mantık operatörlerini uygulayarak uygun montaj sıralarını üretmektedir. Parça sayısına göre değişiklik gösterebilen uygun montaj sıralarının sayısı montaj sistemine göre bazen yüzlerce veya binlerce olabilmektedir. Tasarımcının bu sıraları ayrı ayrı değerlendirmesi zor olduğundan dolayı hacim optimizasyon kriterine göre uygun montaj sıralarından optimumu seçilmektedir. Yapılan çalışma, 9 parçalı bağlantı kızağı sisteminde test edilecek ve sonuçlar tartışılacaktır.

Anahtar kelimeler: Matris Temelli Montaj Sırası Planlama, Hacim Kriteri, Optimizasyon.

Abstract

In this study, in order to determine the feasible assembly sequence systems, developed matrix-based assembly sequence planning approach is used and aimed to find the optimal sequence within the feasible assembly sequences according to the volume optimization criteria. For the computer aided design programs that are used today, automatic assembly sequence planner is not available. The developed software can determine assembly systems components in AutoCAD drawing space and provide relationship within components in the form of matrix. Then, by the method of matrix-based assembly sequence planning, components, which are applied various Boolean operators, produces the feasible assembly sequence. According to the assembly system, feasible assembly sequence numbers which can be vary with part number sometimes may be hundreds or thousands. Due to the evaluation of these sequences is difficult for designer, according to the volume optimization criterion optimum sequence is selected in feasible assembly sequences. The developed software is tested in assembly systems which are 9-parts connection cradle and the results are discussed.

Keywords: Matrix-Based Assembly Planning System, Volume Criterion, Optimization.

1. Giriş

Uluslararası alanda artan rekabet koşulları, imalatçı firmaların daha kaliteli mamulleri daha kısa sürede ve az maliyetle geliştirmelerini gerekli kılmaktadır [1]. Özellikle imalat sektöründe mamuller üretilmeden önce bilgisayar

ortamında tasarlanmakta, montaj edilmekte, fiziksel ve fonksiyonel açıdan simüle edilmekte, varsa hatalar düzeltildikten sonra imalata geçilmektedir. Böylece hem zamandan, hem de maliyetten çok büyük kazançlar sağlanmaktadır [2]. Montaj, bir yapı oluşturmak için parçaları bir araya getirme işlemine veya bu işlemin sonucundaki ürüne verilen isimdir [3]. Montaj sırası planlama çok karmaşık bir işlemdir. Bu karmaşıklık parça sayısının artmasıyla daha da zorlaşmaktadır. Bir mamulün yüzlerce montaj sırası olmasına rağmen optimum montaj sırasının belirlenip kullanılması gerekmektedir [2].

Ürünlerin, montaj sıralarının planlanmasındaki ilk çalışmalar elle yapılırken, yazılım ve katı modelleme programlarının gelişmesiyle, montaj ürünlerinin ilk önce katı modelleri bilgisayar destekli tasarım (BDT) programlarında oluşturulmakta ve sonra geliştirilen çeşitli teoremler vasıtasıyla montaj sıraları bulunmuş ve daha sonra bu sıralardan hangi sıranın optimum sıra olacağı üzerine çalışılmıştır.

Matris temelli yaklaşımlarda parçalar arasındaki montaj ilişkileri, matris formatında gösterilir. Lee ve Kumara çalışmalarında bir şema tasarım aşamasından önce karmaşık bir montaj tasarımını analiz etme ve montaj sıralarının verimli bir şekilde üretilmesi üzerinde durmuşlardır. Her bir parça tüm demontaj yönleri için incelenmiş ve süpürme tablolarına yazılmıştır. Daha sonra montaj ve demontaj sıralarını matrisler ve süpürme tablolarını kullanarak üretmişlerdir [4]. Dini ve Santochi' nin geliştirdikleri metot üç matrisin tanımlanması (etkileşim, temas ve bağlantı matrisi) yoluyla elde edilen ürünün matematiksel bir modeli temeline dayanır. Her bir alt montaj ve ürün için tüm olası montaj sıraları üretilir ve matris sayıları bazı

optimizasyon kriterlerine göre azaltabilmişlerdir [5]. Zhang ve arkadaşları otomobil gövdesinin montajı için tüm uygun montaj sıralamalarını otomatik olarak üretmek için bir prosedür açıklamışlardır. Bu prosedür otomobil gövdesinin bağlantı ve eşleşme matrisleri yoluyla elde edilen bir matematiksel modeli temeline dayanır. Bu iki matris, bileşenleri arasında öncelik kısıtlaması bilgisini ve alt montajları temsil eder. Mümkün alt montajlar bu matrisler için geçerli bazı matematiksel koşulları karşılanmasıyla otomatik olarak tespit edilebilir [6]. Gottipolu ve Ghosh yapmış oldukları çalışmada bir ürünün montajı için kullanılmak üzere en uygun sırayı belirlemek amacıyla, ilk önce bütün olası sıraları tespit etmişler ve daha sonra bu sıraları değerlendirerek optimum sırayı seçmişlerdir. Fakat genellikle uygun sıraların çok büyük sayıda olmasından dolayı, etkin ve kompakt bir temsil metodunu gerekli görmüşlerdir [7]. Ciszak, makine parçalarının ve kümelerinin montaj sıralarının bilgisayar yardımıyla belirlenmesi isimli çalışmasında graf teorisi ve sezgisel çok amaçlı optimizasyon yöntemlerini kullanarak yeni bir konsept sunmuştur. Montaj sıralarını üretebilmek için iki tür matris den (çarpışma matrisi ve montaj matrisi) yaralanmıştır. Grafik teorisinin yanı sıra yager optimizasyon modeline göre en avantajlı montaj sırasının seçimi ile oluşturulan matematiksel ürün modeline göre, makine parçalarının ve kümelerinin mümkün montaj sıralarının oluşturulması için kullanılan algoritmaları incelemişler ve ayrıca simülasyon ve bdt sistemlerini sanal ortamda kullanarak, bağlantı işlemini görselleştirme algoritmasını sunmuştur [8].

Bu çalışmada, montaj sistemlerinde uygun montaj sıralarını belirlemek için geliştirilen matris temelli montaj sırası planlama yaklaşımı kullanılmış ve uygun montaj sıraları içerisinden hacim kriterine göre optimum sıranın bulunması hedeflenmiştir.

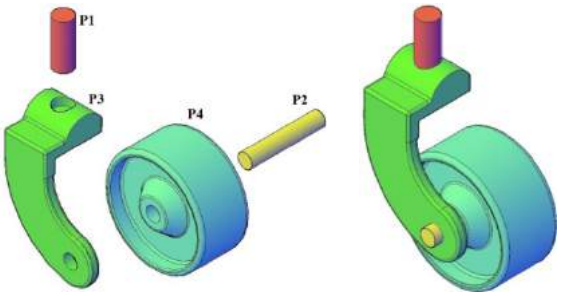
2. Matris Temelli Montaj Sırası Planlama

Montaj sıralarının belirlenmesi için önerilen yaklaşım montajın bir BDT modelinin oluşturulmasıyla başlar. BDT ortamında oluşturulan montajlı parçalar geometrik bilgi için yeterli olmakla birlikte montaj planlama için yetersizdir. BDT ortamında oluşturulan parçaların verileri montaj planlama sisteminin girdisi olarak kullanılır. Daha sonra matris temelli bir matematiksel model oluşturulur ve boolen cebrinden faydalanılarak montaj sıraları belirlenir [8]. Elde edilen uygun montaj sıralarından hacim kriterine göre optimizasyon için montajda kullanılan parçaların hacim değerleri alınır ve uygun montaj sıralarından hacim olarak en büyük parçadan başlanarak en küçük parçaya doğru seçim işlemi yapılır. Böylece uygun montaj sıraları değerlendirilerek hacim kriterine göre optimumu seçilir. Teorem, Şekil 1.de verilen örnek alışveriş arabası tekerleği üzerinde açıklanacaktır.

K_{ab} = (K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, K_6) a ve b bileşenleri arasında temasları temsil eden 1x6 lık binary fonksiyondur. Altı eleman Kartezyen koordinatların +X, +Y, +Z, -X, -Y, -Z yönlerini temsil etmektedir. Bu matrise temas fonksiyonu veya kontak fonksiyonu denir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

K_i= 1 ise i yönünde temas vardır. Örneğin b parçası a parçası ile i yönünde temas halinde ise K_i=1 değerini alır. K_i= 0 olması i yönünde temasın olmadığını belirtir.

H_{ab}=(H_1, H_2, H_3, H_4, H_5, H_6) a ve b bileşenleri arasında öteleme hareketini temsil eden 1x6 lık binary fonksiyondur. Altı eleman Kartezyen koordinatların +X, +Y, +Z, -X, -Y, -Z yönlerini temsil etmektedir. Bu fonksiyona hareket engelleme fonksiyonu adı verilir. H_i= 1 ise i yönünde b parçası a parçasına çarpmadan veya a parçası b parçasını engellemeden, b parçası serbestçe hareket ediyor demektir. H_i=0 ise i yönünde b parçası a parçasına çarpıyor veya a parçası b parçasını engelleyerek b parçasının serbestçe hareket etmesine engel oluyor anlamına gelmektedir.



a) b)

Şekil 1. AutoCAD 2012 ortamında oluşturulmuş üç boyutlu alışveriş arabası tekerleğinin a) Patlatılmış görünüşü, b) Montaj görünüşü.

Şekil 1'de verilen 4 parçadan oluşan alışveriş arabası tekerleğinin kontak fonksiyonu Tablo 1.' de verilmiştir. Burada görüldüğü gibi P_1 nolu parça ve P_2 nolu parçanın arasında kartezyen koordinatların altı ekseninde de hiçbir temas olmadığı için Kontak Matrisinin P_1P_2 satırında tüm değerler '0' olmaktadır. P_1P_3 parçaları arasında ise, P_3 nolu parça P_1 nolu parçanın +Z ekseni hariç diğer tüm eksenlerde temas vardır. Bundan dolayı ilgili matrisin +X, +Y, -X, -Y, -Z kısımları '1', +Z kısmı ise '0' değerini alacaktır.

Tablo 1. Şekil 1'de verilen örnek montaj sistemi parçalarının kontak matrisinin değerleri.

Parça Çiftleri	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_1P_2)	0	0	0	0	0	0
(P_1P_3)	1	1	0	1	1	1
(P_1P_4)	0	0	0	0	0	0
(P_2P_1)	0	0	0	0	0	0
(P_2P_3)	0	1	1	0	1	1
(P_2P_4)	0	1	1	0	1	1
(P_3P_1)	1	1	1	1	1	0
(P_3P_2)	0	1	1	0	1	1
(P_3P_4)	0	0	0	0	0	0
(P_4P_1)	0	0	0	0	0	0
(P_4P_2)	0	1	1	0	1	1
(P_4P_3)	0	0	0	0	0	0

Aynı şekilde örnek montaj parçası için hareket engelleme matrisi Tablo 2.' de verilmiştir. P_1P_2 nolu parçalar birbirlerinin hareketlerini engellemediği için matrisin ilk satırının tüm değişkenleri '1' değerini alır. P_1P_3 parçaları arasında ise P_1 parçasına bakıldığında

sadece +Z ekseninde hareket serbesti olduğu görülmektedir. Bundan dolayı ilgili matrisin +Z kısmı '1' değerini, diğer koordinat eksenine karşılık gelen kısımlar ise '0' değerini almaktadır.

Montajlı parçaların uygun montaj sıralarının belirlenebilmesi için kontak ve hareket engelleme fonksiyonları elde edildikten sonra iki tür sınırlayıcı dikkate alınmalıdır. Bunlar bağlantı ve öncelik sınırlayıcılarıdır. Parçaların bir montaj işlemi açısından diğer parçalara bağlı olduğu bağlantı sınırlayıcısından elde edilebilir. Öncelik sınırlayıcıları ise montajın bazı parçalarının diğerlerinden önce monte edilmesi gerektiğini temsil eder. Bu parçaları istenen sırada montaj olmaması halinde daha sonraki parçaların montajına engel olacaktır. Bu sınırlamalar doğruluk tabloları içerisine K ve H fonksiyonlarının matris elemanlarına Boolen cebri ilkelerinin uygulanması ile doğrulanır. Örneğin Şekil 1. (a)' da gösterilen montajda (P_1P_3) alt montaj parça çiftine P_2 parçası monte edilmek istensin. (P_1P_3) alt montaj parça kümesine (P_2) parçasını eklenecek şekilde düşünelim. Bu iki kümenin kartezyen ürünü {(P_1P_3)x(P_2)}, {(P_1P_2), (P_3P_2)} sıralı parçaların kümesini verir. Bu sıralı çiftlerin kontak fonksiyonunda en az bir temas varsa (P_2) parçasının (P_1P_3) alt montaj parça çifti ile teması vardır anlamına gelir. Doğruluk tablosu Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Şekil 1'de verilen örnek montaj sistemi parçalarının hareket engelleme matrisinin değerleri.

Parça Çiftleri	H_{+x}	H_{+y}	H_{+z}	H_{-x}	H_{-y}	H_{-z}
(P_1P_2)	1	1	1	1	1	1
(P_1P_3)	0	0	1	0	0	0
(P_1P_4)	1	1	1	1	1	0
(P_2P_1)	1	1	1	1	1	1
(P_2P_3)	1	0	0	1	0	0
(P_2P_4)	1	0	0	1	0	0
(P_3P_1)	0	0	0	0	0	1
(P_3P_2)	1	0	0	1	0	0
(P_3P_4)	0	1	1	1	1	0
(P_4P_1)	1	1	0	1	1	1
(P_4P_2)	1	0	0	1	0	0
(P_4P_3)	1	1	0	0	1	1

Tablo 3. ($P_1P_3P_2$) montajı için (P_1P_2), (P_1P_3) parça çiftlerinin temas ilişkisi durumu.

Parça Çiftleri	K_{+x}	K_{+y}	K_{+z}	K_{-x}	K_{-y}	K_{-z}
(P_1P_2)	0	0	0	0	0	0
(P_3P_2)	0	1	1	0	1	1
TK	0	1	1	0	1	1

$TK_i = T(P_1P_2) \vee T(P_3P_2)$ burada i= 1 den 6 ya kadar her eksende ilgili sütunlar VEYA işlemine tabi tutulur. Sonuçta toplam kontak sonucu bulunur.

$$TKS = TK_1 \vee TK_2 \vee TK_3 \vee TK_4 \vee TK_5 \vee TK_6 \quad (1)$$

Eğer TKS (toplam kontak sonucu) 1 çıkar ise parçalar arasında bağlantı olduğu anlamını taşır. Verilen örnekte;

$$TKS = 0 \vee 1 \vee 1 \vee 0 \vee 1 \vee 1 = 1$$

Bu sonuç (P_2) parçasının (P_1P_3) alt montaj parça kümesine teması olduğu anlamını taşımaktadır. Parçaların montaj olabilmesi için temas gereklidir fakat yeterli değildir. Öncelik sınırlayıcılarını elde etmek için parçaların hareket engelleme fonksiyonlarından, bağlantı sınırlamalarında olduğu gibi doğruluk tablosu çıkartılır. Daha sonra parçalara mantıksal VE (Λ) işlemi uygulanarak öncelik sınırlayıcıları elde edilir. Elde edilen sonuçlar mantıksal VEYA(V) işlemine tabi tutularak toplam hareket engelleme sonucu (THS) elde edilir. Doğruluk tablosu Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. (P1P3P2) montajı için (P1P2), (P1P3) parça çiftlerinin hareket ilişkisi durumu.

Parça Çiftleri	H_{+x}	H_{+y}	H_{+z}	H_{-x}	H_{-y}	H_{-z}
(P_1P_2)	1	1	1	1	1	1
(P_3P_2)	1	0	0	1	0	0
TH	1	0	0	1	0	0

$$THS = TH_1 \wedge TH_2 \wedge TH_3 \wedge TH_4 \wedge TH_5 \wedge TH_6 \quad (2)$$

Eğer THS sonucu "1" çıkar ise parçalar arasında en az bir eksende hareket serbestîsi olduğu anlamını taşır. Şayet sonuç "0" çıkar ise parçalar arasında hiçbir eksende hareket serbestîsi olmadığı anlamına gelmektedir. Örnek montaj sisteminde;

$$THS = 1 \vee 0 \vee 0 \vee 1 \vee 0 \vee 0 = 1$$

Bir parçanın diğer parça kümesine montaj olabilmesi için montaj uygunluğu kriterini sağlaması gerekmektedir. Montaj uygunluğu (MU), toplam hareket engelleme sonucunun ve toplam kontak sonucunun mantıksal VE (Λ) işlemine tabi tutulması ile elde edilir. Sonuç "1" ise parçanın montajı mümkün, sonuç "0" ise parçanın montajının mümkün olmadığı anlamına gelir. Örnek sistemde;

$$MU = THS \wedge TKS \quad (3)$$

$$MU = 1 \wedge 1 = 1$$

Bu sonuca göre (P_1P_3) alt parça kümesine P_2 parçasının montajı mümkündür. Sonuç olarak ($P_1P_3P_2$) uygun alt montaj parçaları elde edilir. Bu aşamadan sonra P_4 parçasının $P_1P_3P_2$ alt montajına, montaj olup olmayacağı aynı teoremin devamı ile bulanabilir. Bu şekilde tüm ikili parçalara teorem uygulanarak uygun montaj sıraları tespit edilebilmektedir. Örnek parça için uygun montaj sıraları Tablo 5'de verilmiştir.

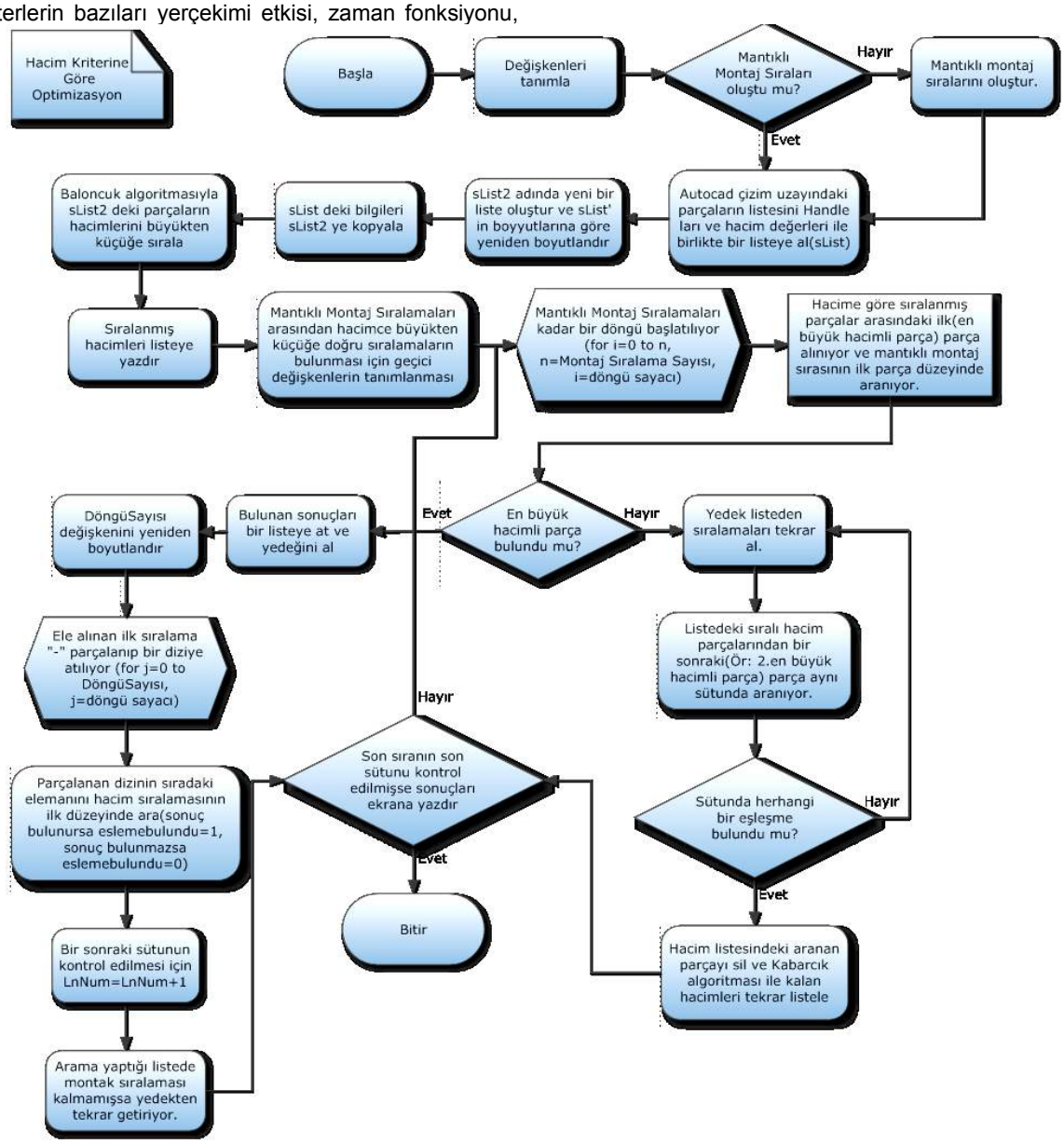
Tablo 5. Alışveriş arabası tekerleğinin uygun montaj sıraları.

Uygun Montaj Sıraları
($P_1P_3P_2P_4$)
($P_2P_3P_1P_4$)
($P_2P_3P_4P_1$)
($P_2P_4P_3P_1$)
($P_3P_1P_2P_4$)
($P_3P_2P_1P_4$)
($P_3P_2P_4P_1$)
($P_4P_2P_3P_1$)

Tablo 5'de görüldüğü gibi 4 parçadan oluşan alışveriş arabası tekerleğinde 24 adet montaj sırası ve 8 adet uygun montaj sırası ortaya çıkmıştır. Parça sayısının artmasıyla uygun montaj sıralarının sayısı 100, 1000 gibi rakamlara ulaşabilmektedir. Tasarımcının bu sıraları tek tek değerlendirmesi imkânsızdır. Uygun montaj sıralarının değerlendirilmesinde birçok ölçüt mevcuttur. Bu çalışmada hacim kriteri kullanılmıştır.

3. Optimum Montaj Sırasının Belirlenmesi

Sanayide kullanılan ürünlerin montaj sıralarının sayısının genellikle birden fazla olmasından dolayı ürünün tüm uygun montaj sıraları elde edildikten sonra çeşitli kriterlere göre bu sıralardan sadece biri seçilerek ürünün montajı gerçekleştirilir. Bu kriterler her ürüne göre uzman montaj sıra planlayıcı tarafından belirlenerek uygun montaj sıralarından sadece bir tanesi seçilerek montaj sırası planlama tamamlanır. Bu kriterlerin bazıları yerçekimi etkisi, zaman fonksiyonu, hacim kriteri, iş istasyonları, montaj hattı durumları vb. dir. Bu çalışmada hacim kriteri ile uygun montaj sıraları değerlendirilmiştir. Hacim sırası kriterine göre değerlendirme işleminin amacı uygun montaj sırları içerisinden en büyük parçadan en küçük parçaya doğru olan sıralamayı seçmektir. AutoCAD 2012 çizim programında oluşturulan parçaların hacim değerleri program tarafından üç boyutlu uzayda kapladıkları hacimler otomatik olarak hesaplanarak sağlanmaktadır. Burada her seviye için sırasıyla en büyük parça aranmaktadır. Geliştirilen algoritmaya göre, sıradaki parça uygun montaj sıraları içerisinde yoksa ondan sonraki en büyük parça seçilmekte ve mantıklı montaj sıraları içerisinde aranmaktadır. Hacimlerin sıralanması için kabarcık algoritması kullanılmıştır [9]. Geliştirilen algoritma, uygun montaj listesindeki montaj sıraları içerisinden en büyük hacimli parçayı temel parça seçmek için aramaktadır. Bulduğu parçaya ait sıralamaları saklamakta ve ikinci en büyük hacimli parçayı kalan sıralardan aramaktadır.



Şekil 2. Hacim kriterine göre optimizasyon algoritması.

Eğer program sıradaki parçayı uygun montaj sıralarının ilgili sütunlarında bulamazsa ondan sonraki aramaya bir sonraki en büyük hacimli parçadan devam etmektedir. Bu sayede hacimleri büyükten küçüğe doğru sıralanmış parçalar uygun montaj sıraları içerisinde aynı sırada olmasa bile program mutlaka uygun montaj sıraları içerisinden en büyük parçaları seçmektedir. Tablo 6.' da alışveriş arabası tekerleği için verilen uygun montaj sıralarına bu algoritmanın uygulanması örnek olarak verilmiştir. Alışveriş arabası için parçaların hacim değerleri büyükten küçüğe doğru sıralandığında elde edilen sıralama ($P_4P_3P_2P_1$) şeklinde olmaktadır. Tablo 5' deki uygun montaj sırası incelendiğinde hacim sırasının, uygun bir montaj sırası vermediği görülür. Geliştirilen algoritma ile uygun parçalar arasından ilk önce her bir sıralama listesinin ilk parçaları arasından P_4 parçası aranacaktır. Olmaması durumunda, algoritmaya göre program sıradaki en büyük parçayı P_3 parçasını uygun montaj sıralarının birinci seviyedeki parçaları arasında arayacaktır. Örnek parçamızın uygun montaj sıraları listesinde (Tablo 5) birinci seviyede sadece bir sıralamada P_4 parçası bulunmaktadır. Döngü ikinci defa dönerken uygun montaj sıraları arasından, birinci seviyede bulamadığı parçanın bulunduğu sıralamaları çıkartıp, bulduğu sıralamalar üzerinden döngüyü tekrarlayacaktır. Örnek parçamızda ikinci döngüde sadece ($P_4P_2P_3P_1$) sıralaması üzerinden tekrarlanacaktır. Parçaların hacim sıralamasına göre ($P_4P_3P_2P_1$) en büyük ikinci parça P_3 parçasıdır. İkinci seviyede mevcut sıralamada bu parça bulunmamaktadır. Bundan dolayı, algoritma aramayı üçüncü en büyük parçadan (P_2) devam ettirecektir. Burada (P_2) parçası ikinci seviyede aranmış ve mevcut sıralama içerisinde bulunmuştur. Şayet, (P_2) parçası da uygun montaj sıralarının 2. seviyesinde bulunamamış olsaydı program (P_1) parçasını 2. seviyede arayacaktı. Üçüncü seviyede aramaya geçildiğince, program bulunmayan (P_3) ve (P_1) parçalarını tekrar büyükten küçüğe sıralamakta ve kalan uygun montaj sıraları içerisinde, en büyük hacimli parçayı aramaktadır. Burada sıralama (P_3P_1) olmaktadır. 3. seviyede kalan uygun montaj sırası arasından ($P_4P_2P_3P_1$), (P_3) parçası aranmış ve 4. seviyede de son parça (P_1) parçası bulunmuştur.

Sonuç olarak Şekil 1'de verilen örnek alışveriş arabası tekerleğinin montajında, 24 tüm montaj sırasından, matris temelli montaj sırası planlama teoremine göre, 8 adet uygun montaj sırası elde edilmiş ve hacim kriteri uygulanarak 8 montaj sırası arasından 1 adet uygun montaj sırası ($P_4P_2P_3P_1$) bulunmuştur.

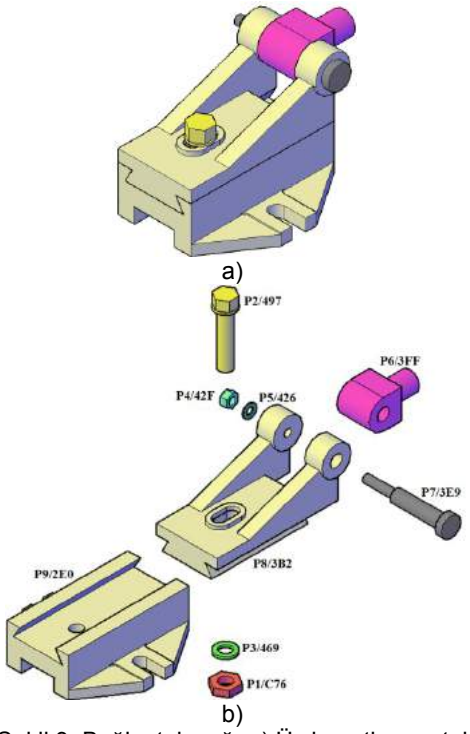
4. Optimum Montaj Sırası Planlama Yazılımı

Bu çalışmada, önceki bölümlerde anlatılan algoritmalar kullanılarak Autocad 2012 ortamında Visual Basic For Application (VBA) modülü kullanılarak "Bilgisayar Destekli Matris Temelli Montaj Planlama Sistem Tasarım" yazılımı geliştirilmiştir. Bu yazılım herhangi bir montaj sistemi için tüm olası uygun montaj sıralarını bulunduktan sonra hacim kriterine göre uygun sıraları değerlendirerek optimum montaj sıralarını belirlemektedir.

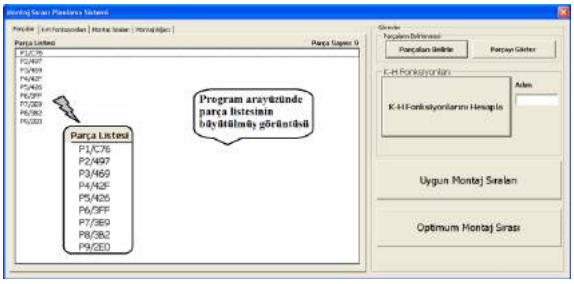
Bu kısımda, Şekil 3'de gösterilen bağlantı kızağı montaj sisteminin uygun montaj sıralarının belirlenmesi ve optimizasyonu geliştirilen yazılım ile gerçekleştirilecektir.

Program tarafından parçaların tanımlanması için, "Parçaları Belirle" butonuna basıldığında parçalar otomatik olarak isimlendirilmektedir. Şekil 4'de program ara yüzü görülmektedir.

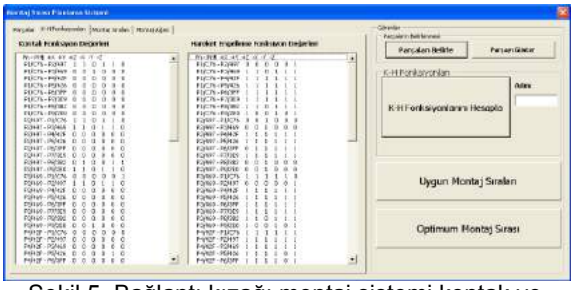
Görüldüğü gibi bağlantı kızağı montaj sisteminde 9 parça bulunmaktadır. Bunlar program tarafından belirlenmiştir. Parçaların uygun montaj sıralarının belirlenebilmesi için ilk önce "Kontak ve Hareket Engelleme Matrislerinin " bulunması gerekmektedir. Bu amaçla program ara yüzünde "K-H Fonksiyonlarını Hesapla" butonuna basılarak, bağlantı kızağı için bu değerler program tarafından bulunur. Şekil 5'de program ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 3. Bağlantı kızağı a) Üç boyutlu montaj modelinin görüntüsü. b) Üç boyutlu patlatılmış görüntüsü.

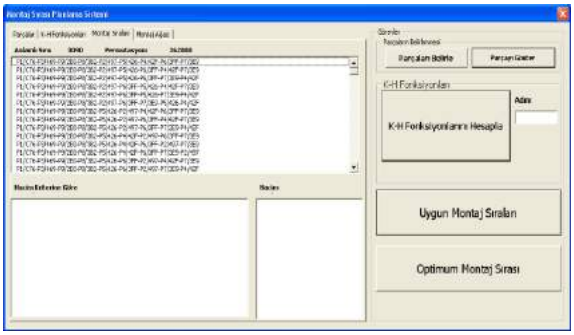


Şekil 4. Bağlantı kızağı montaj sistemi parça listesi program ara yüzü.



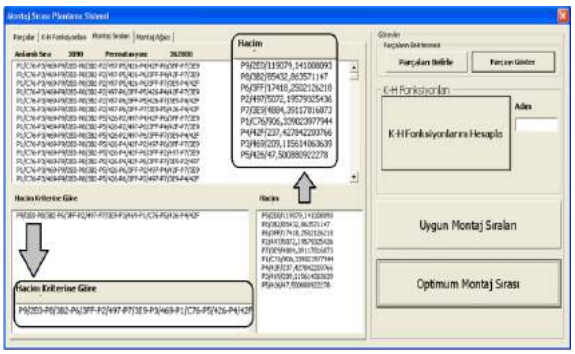
Şekil 5. Bağlantı kızağı montaj sistemi kontak ve hareket engelleme fonksiyonları program ara yüzü.

Bağlantı kızağında 9 adet parça bulunduğu için (9!) 362880 adet sıralama mevcuttur. Fakat bu sıralamaların hepsi montaj sırası planlama için anlamlı değildir. Montaj sistemindeki uygun montaj sıraları için "Uygun Montaj Sıraları" butonuna basarak 3090 adet anlamlı sıra bulunur. Şekil 6' da uygun montaj sıraları için program ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 6. Bağlantı kızağı montaj sistemi için uygun montaj sıraları program ara yüzü.

Görüldüğü gibi 9 parçadan oluşan montaj sisteminde 3090 adet uygun montaj sırası elde edilmiştir. Daha öncede söylenildiği gibi tasarımcının bu sıraları ayrı ayrı değerlendirmesi imkânsızdır. Geliştirilen yazılımdaki "Optimum Montaj Sırası" butonuna basıldığında 3090 adet anlamlı sıra değerlendirilir. Şekil 7'de program ara yüzü gösterilmiştir.



Şekil 7. Bağlantı kızağı montaj sistemi için uygun montaj sıralarının optimizasyonu.

Şekil 7'de program ara yüzünde görülen hacim sıralaması ve optimum montaj sırası Tablo 6. ve Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'de görüldüğü gibi mevcut 3090 adet uygun montaj sıralamasından 1 adet montaj sırası bulunmuştur.

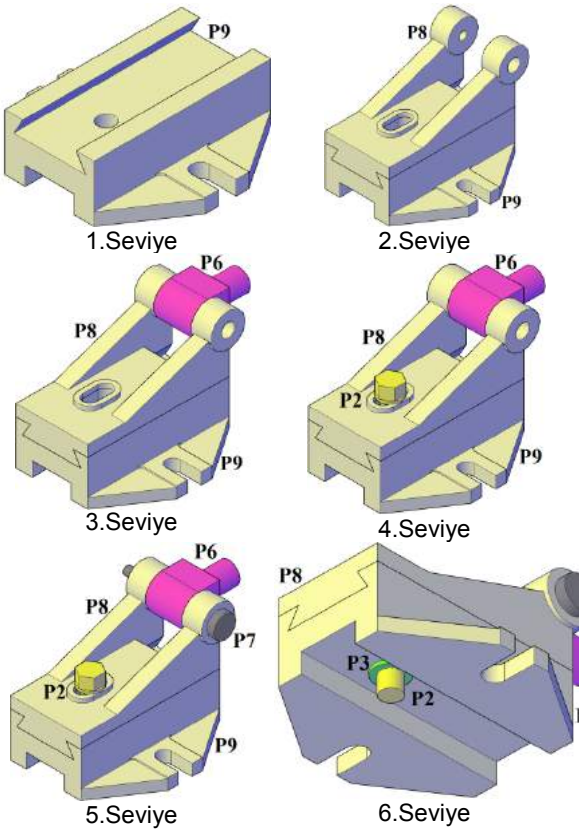
Tablo 6. Bağlantı kızağı montaj sistemi için parça hacimleri ve bu hacimleri büyükten küçüğe doğru sıralanması.

Parça İsmi	P_9	P_8	P_6	P_2	P_7	P_1	P_4	P_3	P_5
Hacim Değeri	119079	85432	17418	5072	4884	906	237	209	47

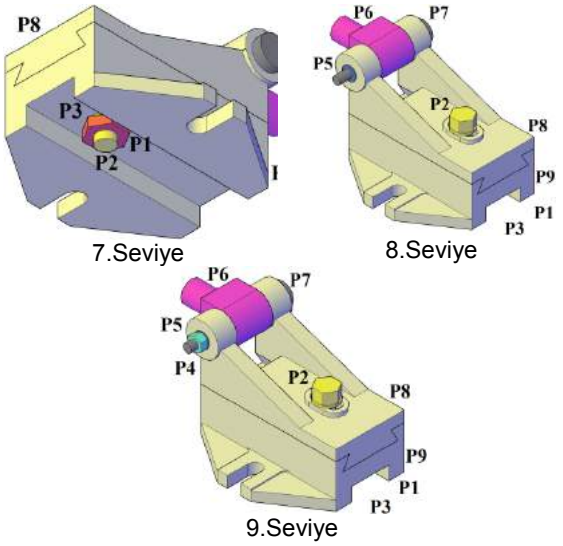
Tablo 7. Bağlantı kızağı montaj sistemi optimum montaj sıralaması.

Optimum Montaj Sırası								
P_9	P_8	P_6	P_2	P_7	P_3	P_1	P_5	P_4

6. seviyede (P_1) parçası uygun montaj sıraları arasında olmadığı için algoritma bir sonraki parçayı (P_4) uygun montaj sıraları arasında aramış ve onu da bulamadığı için bir sonraki parça (P_3) 6. seviyede aranmış ve bulunmuştur. Kalan parçalar ise (P_1-P_4-P_5) tekrar sıralanarak 7. seviyeden itibaren uygun montaj sıraları arasından tekrar arama yapılmış ve (P_1) bulunmuştur. 8. seviyede (P_4) parçasını uygun montaj sıraları arasında bulamadığı için bir sonraki parçayı (P_5) uygun montaj sıraları arasında 8. seviyede aramış ve bulmuştur. 9. seviyede ise kalan (P_4) parçası sıralamanın içerisinden bulunmuştur. Şekil 8'de bağlantı kızağı için bulunan optimum montaj sırasının seviye seviye montajı verilmiştir.



Şekil 8. Bağlantı kızağı montaj sisteminin hacim optimizasyon kriterine göre montajı.



Şekil 8. Bağlantı kızağı montaj sisteminin hacim optimizasyon kriterine göre montajı (devam ediyor)

5.Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada, bilgisayar ortamında üç boyutlu katı obje olarak tasarlanan montaj sisteminin uygun montaj sıraları üretilmekte ve bu sıralar hacim optimizasyon kriterine göre değerlendirilerek uygun montaj sıralarından optimumunun seçilmesini sağlamaktadır. Ayrıca programda, kullanışı etkileşimi minimize edilerek, her adım belirlenen algoritmalar çerçevesinde program arka planında otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde yüzlerce uygun montaj sıralarından optimumunun seçimi gerçekleştirilerek programın başarılı bir şekilde çalıştığı görülmüştür. Farklı sayı ve şekilde parça içeren montaj sistemlerinde test edilmiştir. AutoCAD çizim uzayında üç boyutlu katı olarak modellenen montaj sisteminin olası tüm uygun montaj sıraları otomatik olarak üretilebilmiştir. Program test edildiğinde geliştirilen yazılımın tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür.

Montaj sistemlerinde parça sayısının az olduğu durumlarda bile yüzlerce uygun montaj sırası elde edilebilmektedir. Tasarımcının her bir sırayı tek tek değerlendirmesi oldukça zordur. Geliştirilen yazılımda uygun sıralar arasından belirlenen kritere göre seçim yapılması sağlanmıştır. Yukarda bahsedilen ileriye dönük çalışmaların haricinde mevcut montaj sistemleri değerlendirilerek ağırlık, alt montaj serbestlik derecesi gibi mekanik, maliyet ve işlem süresi gibi ekonomik bazı kriterlerde dikkate alınarak optimizasyon genişletilerek çalışmalar ilerletilebilir.

Kaynaklar

[1] Börklü, H. R., Sinanoğlu, C., Bilgisayar destekli montaj sırası planlamada yön graf temsili ve bir örnek çalışma. Politeknik Dergisi, 4 (1): 1-11. 2001.

[2] Dilipak, H., Özdemir, A., Bilgisayar destekli montaj: bölüm 2 – montaj sıralarının otomatik belirlenmesi. Politeknik Dergisi, 4 (1): 13-22. 2001.

[3] Heemskerk, C., J., M. A concept for computer aided process planning for flexible assembly. Delft Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, Delft, 292 s. 1990.

[4] Lee, Y. Q., Kumara, S. R. T., A scheme for mechanical assembly design and assembly line layout conceptualization. Computer & Industrial Engineering 27 (1-4): 261-264. 1994.

[5] Dini, D., Santochi, M., Automated sequencing and subassembly detection in assembly planning. CIRP Annals – Manufacturing Technology 41 (1): 1-4. 1992.

[6] Zhang, Y. Z., Ni, J., Lin, Z. Q., Lai, X. M., Automated sequencing and sub-assembly detection in automobile body assembly planning. Journal of Materials Processing Technology 129: 490-494. 2002.

[7] Gottipolu R. B., Ghosh, K, Representation and selection of assembly sequences in computer-aided assembly process planning. International Journal Of Production Research 35 (12): 3447-3465. 1997.

[8] Ciszak, O., Computer aided determination of the assembly sequence of machine parts and sets. Advances in Engineering Software 48: 17-26. 2012.

[9] http://tr.wikipedia.org/wiki/Kabarcık_sıralaması (Erişim tarihi: 31.10.2012)

KARABÜK ÜNİVERSİTESİ 2007

2014 ISIDE

International Symposium on Industrial Design Engineering

iside14.karabuk.edu.tr