



2nd International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences

Technical University Of Cluj Napoca
20-21 April 2017
Baia-Mare / ROMANIA
www.icetas2017.org

Book of Proceedings

ISBN 978-973-0-23973-7



ICETAS 2017

Edited by Assoc. Prof. Dr. Gratiela BOCA
Assoc. Prof. Dr. Ayhan EROL
Asist. Prof. Dr. Ahmet YÖNETKEN
Published Technical University of Cluj Napoca, 2017
icetas2017@gmail.com

2nd International
Conference on
Engineering Technology
and Applied Sciences

Cluj Napoca Technical University

Romania 20-21 April 2017

www.icetas2017.org

Book of Proceedings

Book of Proceedings of the International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS2017)

Edited by

Assoc. Prof. Dr. Gratiela BOCA

Assoc. Prof. Dr. Ayhan EROL

Asist. Prof. Dr. Ahmet YÖNETKEN

Published, 2017icetas2017@gmail.com

This work is subject to copyright. All rights are reserved, whether the whole or part of the material is concerned. Nothing from this publication may be translated, reproduced, stored in a computerized system or published in any form or in any manner, including, but not limited to electronic, mechanical, reprographic or photographic, without prior written permission from the publisher www.icetas2017.org icetas2017@gmail.com. The individual contributions in this publication and any liabilities arising from them remain the responsibility of the authors. The publisher is not responsible for possible damages, which could be a result of content derived from this publication.

ISBN : 978-973-0-23973-7

Welcome to ICETAS2017

On behalf of the organizing committee, we are pleased to announce that the 2nd International Conference on Engineering Technology and Applied Sciences (ICETAS2017) is held from April 20 to 21, 2017 in Baia-Mare, Romania. ICETAS2017 provides an ideal academic platform for researchers to present the latest research findings and describe emerging technologies, and directions in Engineering Technology and Applied Sciences issues. The conference seeks to contribute to presenting novel research results in all aspects of Engineering Technology and Applied Sciences. The conference aims to bring together leading academic scientists, researchers and research scholars to exchange and share their experiences and research results about all aspects of Engineering Technology and Applied Sciences. It also provides the premier interdisciplinary forum for scientists, engineers, and practitioners to present their latest research results, ideas, developments, and applications in all areas of Engineering Technology and Applied Sciences. The conference will bring together leading academic scientists, researchers and scholars in the domain of interest from around the world. ICETAS2017 is the oncoming event of the successful conference series focusing on Engineering Technology and Applied Sciences. The scientific program focuses on current advances in the research, production and use of Engineering Technology and Applied Sciences with particular focus on their role in maintaining academic level in Engineering and Applied Sciences and elevating the science level. The conference's goals are to provide a scientific forum for all international prestige scholars around the world and enable the interactive exchange of state-of-the-art knowledge. The conference will focus on evidence-based benefits proven in clinical trials and scientific experiments. Best regards,

Chairman of Conference

Assoc. Prof. Dr. Ayhan EROL

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Adem KURT	Gazi University	TURKEY
Artay YAGCI	Afyon Kocatepe University,	TURKEY
Asım Gokhan YETGIN	Dumlupinar University	TURKEY
Aytekin HITIT	Afyon Kocatepe University,	TURKEY
Behçet GULENC	Gazi University	TURKEY
Diğer BURAN	Süleyman Demirel University	TURKEY
Elena Cristina RADA	Trento University	ITALY
Gabor PAY	University College of Nyiregyhaza,	HUNGARY
Hazizan Md AKİL	Sains Malaysia University	MALAYSIA
Huseyin Ali YALIM	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Huseyin AKBULUT	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Huseyin BAYRAKCEKEN	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Ilhan KOŞALAY	Ankara University	TURKEY
Ioan ABRUDAN	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Ivan KURIK,	Technical University Zilina	SLOVAKIA
Lucian Ionel CIOCA	'Lucian Blaga' University of Sibiu	ROMANIA
Marco RAGAZZI	Trento University	ITALY
Metin OZGUL	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Mihai BANICA	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Mircea HORGOS	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Muhammed YURUSOY	Afyon Kocatepe University,	TURKEY
Mustafa ERSOZ	University of Selcuk	TURKEY
Nicolae UNGUREANU	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Peter MONKA	Technical University Kosice	SLOVAKIA
Ramazan KAÇAR	Karabük University	TURKEY
Radu COTETIU	Technical University Cluj Napoca	ROMANIA
Rıdvan ÜNAL	Usak University	TURKEY
Robert CEP	Technical University Ostrava	CZECH
Selçuk AKTÜRK	Mugla University	TURKEY
Serdar SALMAN	Marmara University	TURKEY
Serhat BAŞPINAR	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Sezai TAŞKIN	Celal Bayar University	TURKEY
Suleyman GÜNDÜZ	Karabük University	TURKEY
Sukru TALAS	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Stanislaw LEGUTKO	Poznan University of Technology	POLAND
Yılmaz YALCIN	Afyon Kocatepe University	TURKEY
Yuksel OĞUZ	Afyon Kocatepe University,	TURKEY

ISBN : 978-973-0-23973-7

ORGANIZATION COMMITTEE

Gratiela BOCA	Cluj-Napoca Technical University	Romania
Ayhan EROL	Afyon Kocatepe University	Turkey
Miorita UNGUREANU	Cluj Napoca Teknik University	Romania
Arzu YAKAR	Afyon Kocatepe University	Turkey
Ahmet YONETKEN	Afyon Kocatepe University	Turkey
Gunnur PESMEN	Afyon Kocatepe University	Turkey

LOCAL ORGANIZATION COMMITTEE

Anamaria DASCALESCU	Technical University of Cluj Napoca	Romania
Cezar TOADER	Technical University of Cluj Napoca	Romania
Claudiu LUNG	Technical University pf Cluj Napoca	Romania
Dinu STOICOVICI	Technical University of Cluj Napoca	Romania
Rita TOADER	Technical University of Cluj Napoca	Romania

ISBN : 978-973-0-23973-7

CONTENTS

	Page
Nokta direnç kaynak elektrotuna TiC-Co kaplamanın etkisi	
<i>Batuhan BOZKURT¹, Hayriye Ertek EMRE¹, Şükrü TALAŞ², Ramazan KAÇAR¹.....</i>	1-8
Microstructure and Hardness Properties of Hot Forged 30MnVS5 Steel Cooled in Different Mediums	
<i>Barış ÖZLÜ¹, Halil DEMİR², Mustafa TÜRKMEN³, Süleyman GÜNDÜZ².....</i>	9-12
Gas Atomization Unit Design And Manufacturing For Metal Powder Production	
<i>Mehmet AKKAŞ¹, Tayfun ÇETİN², Atakan Oğuz OCAK³, Mustafa BOZ⁴.....</i>	13-17
Dinamik ağırlık ölçümü ve Adaptif Filtre Uygulaması	
<i>İsmail YABANOVA¹, Mesut YANIK².....</i>	18-23
Investigation of Electrically Conductivity Properties of Asphalt Concrete with Carbon Black According to the Increase of Mass Bitumen	
<i>Hüseyin AKBULUT¹ Cahit GÜRER²,</i>	24-26
Decoupled Non-linear Control Design and Simulation of Torpedo Shaped Autonomous Underwater Vehicles (AUVs)	
<i>Alper YALMAN¹, Aydın YEŞILDIREK².....</i>	27-32
Finsler Geometri Tabanlı Rüzgar Hızı Modellemesi için Yeni Bir Metrik Tanımlama	
<i>Emrah DOKUR¹, Salim CEYHAN², Mehmet KURBAN³.....</i>	33-36
İki Parametrelili Ters Weibull Dağılımının Rüzgâr Hızı Modellemesinde Kullanımı	
<i>Emrah DOKUR¹, Salim CEYHAN², Mehmet KURBAN³.....</i>	37-41
İki Farklı Çözeltide Anodik Oksidasyon Uygulanmış Ti6Al4V Alaşımının Elektrokimyasal Korozyon Davranışının İncelenmesi	
<i>Yusuf KAYALI, Şükrü TALAŞ, Ceylan TAŞKIN.....</i>	42-45
HTEA temelli risk değerlendirme: İnşaat sektöründe bir uygulama	
<i>Burak EFE¹, Mustafa KURT².....</i>	46-52
Bulanık PROMETHEE Yaklaşımını Kullanarak Yenilenebilir Enerji Politikası Seçimi	
<i>Mehmet Akif YERLİKAYA¹, Burak EFE^{2*}, Ömer Faruk EFE³.....</i>	53-57
Kaba Küme-VİKOR Bütünleşik Yaklaşımı İle Müşteri Odaklı Tedarikçi Seçimi	
<i>Burak EFE¹, Mehmet Akif YERLİKAYA^{2*}, Ömer Faruk EFE³.....</i>	58-62
KRİTİK-TOPSİS Bütünleşik Yaklaşımı İle Akreditasyon-Temelli Tedarikçi Seçimi	
<i>Mehmet Akif YERLİKAYA¹, Feyzan ARIKAN².....</i>	63-67

Restoration Proposal of a Traditional Ottoman House

Elif Ece YÖNETKEN..... 68-71

Changes In Microstructure By Using Additives In Swelling Soils

Nazile URAL..... 74-76

Effects Of Clay On Microstructure Silty Soils

Nazile URAL..... 77-78

Biyomalzemelerde Biyouyumluluk Test ve Yöntemlerinin Analizi

Ayhan EROL¹, Ahmet YÖNETKEN², Okan Aytuğ KULOĞLU³ 79-86

Friction performance of brake linings containing alumina and cashew

*İlker Sugözü, * Enver Çakır*..... 87-90

Tribological characteristics of automotive brake linings containing ZrSiO₄

*İlker Sugözü, * Enver Çakır*..... 91-94

The Use Of The Drug Delivery Systems On The Meso-Porous Silica Particles

Alime ÇITAK^{1,}, Tuğçe GÜNER², Gizem AKBIYIK³* 95-100

Investigation of the Reaction Kinetic of Cordierite Ceramics Production by Using

Magnesite Filter Powder

Ayşegül AŞKIN¹, İlknur TATAR², Şule KILINÇ³ 101-105

The 5S keys for Quality Management Improvement

Gratiela Dana BOCA, Lindita MUKAJ, Vishkurti MARSIDA³ 106-111

How Theory's of Motivation are Implemented in "Kucova" Plant

Gaqo TANKU¹, Vladimir MUKA² Piro TANKU³ 112-116

Employee Creativity in Romanian Construction Companies. An Empirical Research

Cristian – Liviu Vele, PhD.^{1,}* 117-121

Cultural Barriers Model for Future Manufacturing Organization

Gratiela Dana BOCA, Lindita MUKAJ, Vishkurti MARSIDA..... 122-127

Comparison of Phenomenological Level Density Models in (γ,n) Reactions of Uranium

Isotopes

Ismail Hakki SARPÜN¹, Abdullah AYDIN², Eyyup TEL³ Ahmet BOZKURT⁴ 128-130

Cross Sections Calculations for ³⁹K Using Skyrme Parameters

Eyyup TEL¹, Abdullah AYDIN², Ismail Hakki SARPÜN³, Hasancan ALKANLI¹ 131-133

Consideration on the Management of Cross-border Projects

Anamaria Dascalescu¹, Miorita Ungureanu².....134-136

Decarburization of steels with high carbon content before boronizing treatment and its effect on the microstructure: Borodecarburizing

Arzum ULUKÖY..... 137-142

HVOF yöntemiyle Cr₃C₂-%25NiCr ve WC-%12Co kaplanan fren disklerinin aşınma direnci ve fren performansı

Mehmet ÇAKMAKKAYA, Tuğçe YALÇIN, Serdar SERİN 143-154

The effect of tempering process on mechanical properties of P460 steels joined by submerged arc welding

*Mustafa TURKMEN¹, *Ugur CALIGULU², Haluk KEJANLI³Tansel TUNÇAY⁴..... 155-159*

Nokta direnç kaynak elektrotuna TiC-Co kaplamanın etkisi

Batuhan BOZKURT¹, Hayriye Ertek EMRE¹, Şükrü TALAŞ², Ramazan KAÇAR¹

¹Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Müh. Böl. Karabük, Türkiye

²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Met. Malz. Müh. Böl. Afyon, Türkiye

Özet: Otomotiv ve beyaz eşya endüstrisinde aynı veya farklı türdeki çelik sacların birleştirilmesinde genellikle nokta direnç kaynak işlemi kullanılmaktadır. Nokta direnç kaynağında kullanılan elektrotlar farklı geometrilerde bakır alaşımlarından üretilmektedir. Ömürlerini arttırmak amacıyla nokta direnç kaynak işleminde kullanılan bakır esaslı elektrotlara kaplama işlemi uygulanabilmektedir. Bu çalışmada, Cu-Cr-Zr nokta direnç kaynak elektrotun yüzeyine TiC-Co malzeme elektrosark yöntemiyle kaplanmıştır. Böylece kaplamanın DP600 çelik çifti birleştirmesi üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: *TiC-Co elektrot kaplama, Nokta direnç kaynağı, DP600 çift fazlı çelik.*

Effect of TiC-Co coating on resistance spot welding electrodes

Abstract: Resistance spot welding is the most commonly used welding method on joining of similar and dissimilar steel sheets in the automotive and white appliances industry. The different shape electrodes that used in resistance spot weld were manufactured from Copper alloys. The coating process applies to the copper base electrodes that are used for resistance spot welding to improve life cycle. In this research, the TiC-Co material was coated to Cu-Cr-Zr electrodes by the electrosark method. Thus, the effect of the coating on the resistance spot welded DP600 steel couple was investigated in detail.

Keywords: *TiC-Co electrode coating, Resistance Spot weld, DP600 dual phase steel.*

1 GİRİŞ

Çelik endüstrisinde üretim işlem basamaklarını basitleştirmek, maliyeti düşürmek ve ağırlığı azaltmak o ürünün diğer malzemelerle rekabet edebilirliğini artırır [1,2]. Otomotiv ve beyaz eşya endüstrisinde daha hafif ürünler elde edebilmek için kullanılan yeni nesil ileri yüksek mukavemetli çelikler (AHSS) yüksek mukavemet ve süneklik özelliklerinden dolayı tercih edilmektedir [3-7].

Yumuşak ferrit ve sert martenzit fazlarından dolayı çift fazlı çelik olarak adlandırılan bu çeliklerin ısıtılması işlemi $Ac_1 - Ac_3$ kritik sıcaklık aralığında ısıtıldıktan sonra östenit fazının hızlı soğutulmasıyla yapıda %5-20 aralığında martenzit fazının elde edilmesiyle sonlandırılır. Soğutma sırasında yapıda oluşan martenzit fazı çeliğin mukavemetini artırırken, ferrit fazı ise sünekliği sağlamaktadır [8-9].

Nokta direnç kaynak yöntemi çelik sacların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir kaynak yöntemidir [10]. Basınç ve kaynak akımı yardımıyla ilave metal kullanmadan meydana getirilen kaynaklı birleştirmeye nokta direnç kaynağı denir. Kaynatılacak parçalar genellikle bakır veya bakır alaşımlarından imal edilen farklı uç geometrisine sahip iki elektrot arasına alınır ve belirli bir baskı uygulanmasıyla elektrik akımının geçişi sağlanır. Makina üzerindeki şalter ve zaman sayacı ile belirlenen süre boyunca akım bir elektrottan diğerine akarken bu akıma karşı direnç, iki sac arasındaki temas noktasında en yüksek değere ulaşır ve malzeme bu noktada ergimeye başlar. Elektrik akımının otomatik olarak kesilmesinden sonra kaynak

banyosu, uygulanan basınç altında soğuyarak katılır. Böylece iki sac malzeme sökülemeyen bir şekilde birleştirilmiş olur [11-12].

Otomotiv ve beyaz eşya endüstrisinde geniş yelpazede kullanılan DP600 çift fazlı çeliğin nokta direnç kaynak yöntemiyle ilgili birçok çalışma mevcuttur [13-15]. Nokta direnç kaynağında birleştirmenin kaynak kalitesini etkileyen unsurlardan birisi de kaynak için kullanılan elektrotlardır. Genellikle bakır ve bakır alaşımlarından imal edilen elektrot ömrünü uzatmak için elektrot uçlarının kaplanması ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmaktadır [16-19]. Uygulanan kaplamanın elektrotun kullanım ömrünü arttırdığı ve elektrottaki mantarlaşmayı azaltarak daha fazla kaynak işleminin gerçekleşmesini sağladığı bilinmektedir. Elektrosark kaplama yöntemi kompozit ve çelik malzemelerin yanı sıra elektrot uçlarının kaplanmasında kullanılmaktadır [17-20]. Ancak yürütülen literatür araştırmalarında elektrosark kaplamanın elektrot iletkenliği ile ömrünün yanı sıra nokta direnç kaynağı ile birleştirilmiş numunelerin mekanik özellikleri ve mikroyapısına etkileri ile ilgili yeterince çalışmaya rastlanılmamıştır.

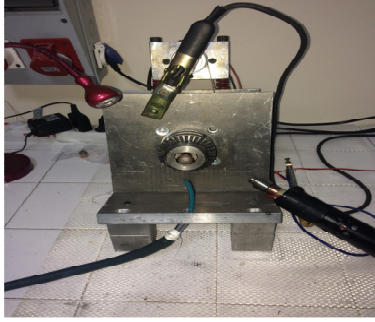
Çalışmada nokta direnç kaynağı ile birleştirilen DP600 çift fazlı çeliklerinin kaynak kabiliyetine, elektrot iletkenliğine ve ömrüne TiC-Co kaplamanın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bir grup DP600 çeliği temin edildiği şekliyle Cu-Cr-Zr bakır alaşımlı elektrot ile diğer bir grup ise elektrosark yöntemiyle TiC-Co kaplanmış elektrotlar ile aynı kaynak parametreleriyle birleştirilmiştir. Numunelerin özellikleri çekme-makaslama, çapraz çekme testi, sertlik ölçümü, kaynak

çekirdek boyutu ölçümü ile belirlenerek birleştirme mikroyapısı incelenmiştir. Çalışmada kullanılan elektrotların elektrik akımına karşı gösterdiği direnç ve kaynak işlem sayısına göre uç geometrisi metalografik olarak değerlendirilmiş ve sonuçlar mukayese edilmiştir.

2 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Elektrotların Kaplanması

Çalışmada ticari olarak temin edilen Cu-Cr-Zr küresel başlı elektrotlar iki gruba ayrılarak bir grup elektrot, Shengzao marka elektrospark kaynak makinesi ile 102V gerilim altında 13 lt/dk argon gazı koruması altında TiC-Co ilave tel ile kaplanmıştır. Şekil 1'de elektrospark kaplama düzeneği gösterilmiştir.



Şekil 1. Elektrospark kaplama ünitesi

Diğer bir grup elektrot da ticari olarak temin edildiği şekliyle kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan ticari olarak temin edilen Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplanmış elektrotların kimyasal bileşimi Rigaku ZSX Primus II model WD-XRF cihazı ile belirlenmiş ve sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir.

Tablo1. Cu-Cr-Zr elektrotların % kimyasal bileşimi

	Cr	Zr	Cu
Elektrot	0,66	0,05	99,28

Tablo 2. TiC-Co kaplanmış elektrotların % kimyasal bileşimi

	C	Al	Si	Ti	Co	Cu
Elektrot	9,94	0,48	0,28	22,4	5,1	Kalan.

Elektriksel direnç değerleri GWINSTEK GOM-802 marka ve model ohm-metre ile 1 mikro-ohm hassasiyetle ölçülmüştür. Aralarındaki mesafesi 11,5 mm olan yaylı ve sabit bir baskı uygulayan 2 pinli aparat ölçüm için kullanılmıştır. Cihaz sabit bir değer okununcaya kadar bekletilmiş ve bu şekilde direnç değerleri belirlenmiştir.

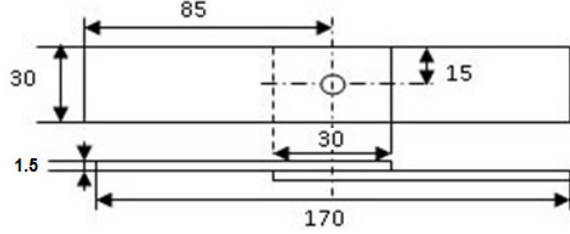
2.2. Malzeme ve Kaynak İşlemi

Çalışmada ticari olarak temin edilmiş DP600 çelik sac malzemenin kimyasal analiz sonucu ve mekanik özellikleri Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. DP600 çeliğinin kimyasal bileşenleri (% ağırlık) ve mekanik özellikleri

C	Si	Mn	Cr	Nb	Al	Fe
0.1	0.18	1.6	0.34	0.09	0.05	Kalan
Akma Dayanımı (MPa)			Çekme Dayanımı (MPa)			Toplam Uzama (%)
418			580			19

Çalışmada 1,5x30x100mm³ ölçülerinde kesilen DP600 çelik sac numuneler kaynak için hazır hale getirilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Deney numunesi boyutları ve kaynak pozisyonu.

Birleştirme işlemi 60kVA gücünde, BAYKAL SPP60 marka elektronik akım ve zaman kontrollü, pnömatik basma donanımlı nokta direnç kaynak makinesi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kaynak sırasında numunelerin eksenden kaymasını önlemek amacıyla ahşap tutucu kalıp geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Ön deneysel çalışmalardan ve daha önceki gerçekleştirilen çalışmalardan yola çıkılarak 7kA kaynak akım şiddeti ve 20 çevrim kaynak zamanı sabit tutularak iki farklı 5 ve 6 kN elektrot baskı kuvveti kaynak parametresi olarak belirlenmiştir. Mukayese yapabilmek amacıyla bir grup numune ticari olarak temin edilen Cu-Cr-Zr küresel başlı elektrotla diğer grup ise elektrospark yöntemiyle TiC-Co kaplanmış elektrotlarla birleştirilmiştir.

2.3. Çekme Makaslama Deneyi

Çalışmada her bir kaynak parametresi için 6 adet numune hazırlanmıştır. Çekme makaslama testi için 4 adet numune kullanılmıştır. Deney SHIMADZU marka 50 kN kapasiteli test cihazında 10 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Farklı elektrotlarla birleştirilen çekme makaslama test numuneleri Şekil 3 a ve b'de gösterilmiştir.

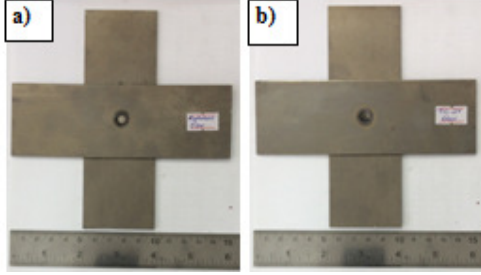


Şekil 3. Çekme- makaslama deneyi numuneleri a) Cu-Cr-Zr, b) TiC-Co kaplanmış elektrot ile birleştirilmiş.

2.4. Çapraz Çekme Deneyi

Çalışmada çapraz çekme deneyine tabi tutulmak üzere her parametre için 3'er adet numune hazırlanmıştır. Deney SHIMADZU marka 50kN kapasiteli test cihazında 10 mm/dak çekme hızında gerçekleştirilmiştir. Deney sonrası birleştirmelerin kırılma davranışları da metalografik olarak incelenmiştir. Farklı elektrotlarla birleştirilmiş çapraz çekme test

numuneleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Çapraz çekme deneyi numuneleri a) Cu-Cr-Zr b) TiC-Co kaplanmış elektrot ile birleştirilmiş.

2.5. Sertlik Ölçümü ve Mikroyapı İncelemesi

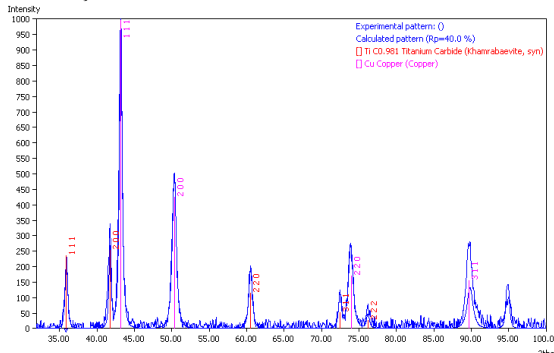
Kaynaklı deney numunelerinin sertlik ölçümü ve mikroyapı incelemesi için standart metalografik yöntemlerden (200-2000 meshlik zımpara ile zımparalama, 3 ve 1 µm elmas pasta ile parlatma, %2 nitrik asit çözeltisi ile 15 sn dağlama) yararlanılmıştır. Metalografik incelemeler Nikon Optical DIC marka optik mikroskopta yapılmıştır. Sertlik ölçümü, ana malzemeden, kaynak eksenine doğru alınmıştır. Sertlik ölçümü 500 g yük kullanılarak SHİMAZDU marka mikrosertlik cihazında gerçekleştirilmiştir.

Kırık yüzey incelemesinde ve kaplama kalınlık ölçümü ve değerlendirilmesinde Zeiss Ultra Plus marka SEM taramalı elektron mikroskobundan yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan deney elektrotların kimyasal içerikleri XRF ile belirlenmiştir.

3 DENEYSEL SONUÇLAR ve İRDELENMESİ

3.1. Deneyde Kullanılan Elektrotların İncelenmesi

Ticari olarak temin edilen küresel başlıklı elektrotlar, elektrospark kaplama yöntemi TiC-Co ile kaplanmıştır. Çalışmada kullanılan Cu-Cr-Zr F16 tip ve TiC-Co kaplanmış elektrotlar kesitinden kesilerek XRF incelemesine tabi tutulmuştur. Sonuçlar Şekil 5’de gösterilmiştir.

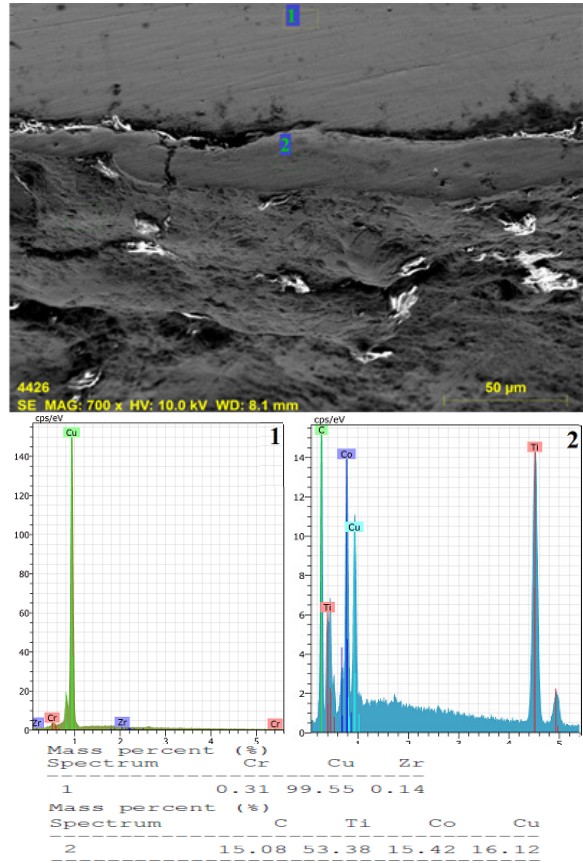


Şekil 5. Cu-Cr-Zr elektrot ve TiC-Co kaplanmış elektrotların XRF analiz sonucu.

Şekil 5’den görüldüğü gibi XRF sonucu F16 tip elektrot Cu-Cr-Zr alaşımının uç yüzeyi TiC-Co ile kaplandığına işaret etmektedir.

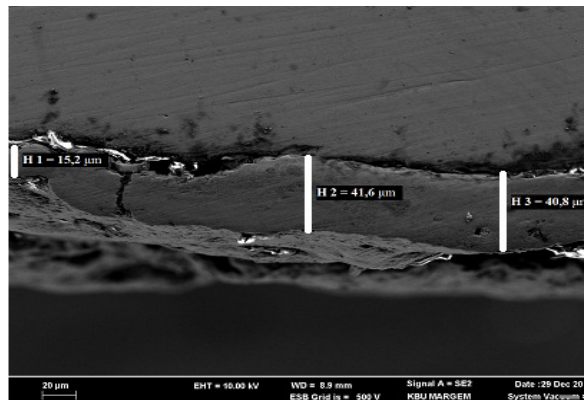
Kullanılan elektrotların kimyasal bileşimini belirlemek ve kaplama kalınlığını ölçmek için ayrıca SEM

incelemesi yapılmış ve elektrot üzerinden belirtilen noktalardan EDS analizi gerçekleştirilmiştir. EDS analiz sonuçları Şekil 6’da, kaplama kalınlığı ölçümü sonucu ise Şekil 7’de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 6. Çalışmada kullanılan elektrot üzerinden gerçekleştirilen EDS analiz sonucu

Şekil 6’da EDS analizi sonucu çalışmada kullanılan elektrotun Cu-Cr-Zr alaşım elementlerinden oluştuğunu belirtirken kaplanmış elektrotun yüzeyinden gerçekleşen EDS analizi sonucu yüzeyde Ti, Co ve C elementlerine rastlanması elektrotun TiC-Co ile başarı ile kaplandığına işaret etmektedir.



Şekil 7. Cu-Cr-Zr elektrot üzerine TiC-Co kaplama kalınlık ölçümü

Şekil 7'deki gösterilen bölgelerden yapılan ölçümler kaplama kalınlığının yaklaşık 15-42 µm kalınlığında olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel işlemlerde kullanılan Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplanmış elektrotların elektrik akımına gösterdikleri direnç ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre Cu-Cr-Zr elektrotun elektrik akımına gösterdiği direnç çok düşük bulunmuş ve sıfır kabul edilmiştir. TiC-Co kaplanmış elektrotun elektrik akımına gösterdiği direnç 2.982 mΩ olarak ölçülmüştür.

Ayrıca çalışmada kullanılan elektrotların ömrünü ve uç geometrisindeki değişimi belirlemek için her 5 kaynak işleminden sonra elektrot uç makro görüntüleri alınmış ve görüntüler Şekil 8 a ve b'de gösterilmiştir.



Şekil 8. 0-5-10-20 kaynak sonrası uç makro görüntüsü a) Cu-Cr-Zr elektrot b) TiC-Co kaplanmış elektrot

Ticari olarak temin edildiği şekliyle kullanılan Cu-Cr-Zr elektrotun uç kısmında oluşan mantarlaşma çapı sırasıyla 10 ve 20 kaynak işleminden sonra 3,96 mm ve 4,17 mm ölçülmüştür (Şekil 8). TiC-Co kaplanmış elektrotun uç kısmındaki mantarlaşma ise sırasıyla 10 ve 20 kaynak işleminden sonra 3,38 mm ve 3,94 mm mm ölçülmüştür. Bu durum TiC-Co kaplamalı elektrotlarda kaynak sayısına bağlı olarak elektrot uc büyümelerinin daha az olduğuna işaret etmektedir. Benzer şekilde, yapılan bir çalışmada, Cu-Cr-Zr ve CuAl₂O₃ elektrotlar elektrosaprak yöntemi ile TiC kaplanarak, kaplamasız ve kaplamalı elektrotlarla yapılan 0-1600 arası nokta direnç kaynak sonrası elektrot uç büyümeleri mukayese edildiğinde kaplamanın elektrot uç büyümesini azalttığı belirtilmiştir [18]. Bu elektrot uç büyüme hızının azalması, elektrot ömrünü arttırmaktadır.

Çalışmada elektrot ağırlık değişimide tespit edilmiş ve Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Elektrot ağırlık değişim

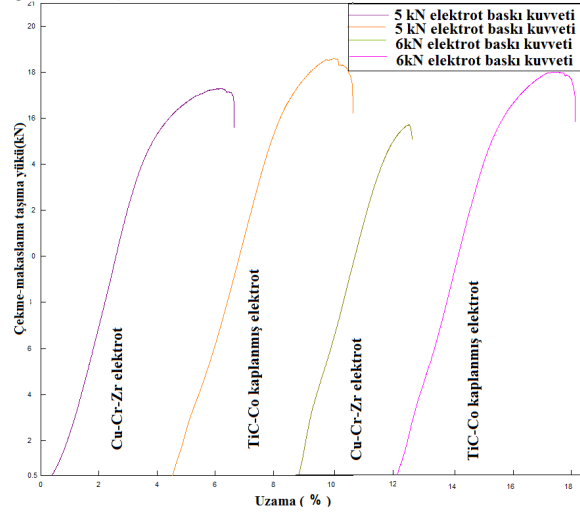
Kaynak işlemi sayısı	Cu-Cr-Zr alt elektrot (gr)	TiC-Co kaplı alt elektrot (gr)	Cu-Cr-Zr üst elektrot (gr)	TiC-Co kaplı üst elektrot (gr)
0	20,457	20,281	20,398	20,480
5	20,457	20,281	20,398	20,480
10	20,453	20,281	20,406	20,478
20	20,453	20,280	20,393	20,478

Tablo 3'deki elektrot ağırlık değişimleri incelendiğinde, TiC-Co kaplı alt ve üst elektrot ağırlığında belirgin bir değişim gözlenmezken (20 kaynak işleminde 0,001-

0,002 gr azalma), ticari olarak temin edilen Cu-Cr-Zr kaplamasız alt ve üst elektrot ağırlığında kaynak işlemine orantılı olarak bir belirgin bir azalma (20 kaynak işleminde 0,004-0,005 gr) meydana geldiği görülmektedir. Kaynak işlem sayısına bağlı olarak elektrot kaybı ve dolayısıyla elektrot ağırlığındaki azalma muhtemeldir. Uygulamada 500-1000 kaynak işlemi sonrası bu durum gözle görülür bir elektrot malzeme kaybına yol açarak elektrot ömrünü belirleyecektir. Çalışmadaki 20 kaynak işlemi elektrot ömrünü belirleyici bir etkiye sahip olmamakla beraber, elektrot kayıpları mukayese edildiğinde TiC-Co kaplamalı elektrot ağırlık kayıplarının daha yavaş bir ivmeyle azaldığı görülmektedir. Dong ve Zhou [19], yaptıkları bir çalışmada nikel kaplamalı çelik sacların mikro-direnç kaynağında kullanılan TiC metal matrix kaplamalı elektrotların kaynak sonrası yapışmayı ve malzeme kaybını azalttığını rapor etmişlerdir.

3.2. Çekme-Makaslama Deneyi Sonuçları

Çalışmada 7 kA sabit akım şiddeti, 20 çevrim sabit kaynak zamanında, 5 kN ve 6 kN olmak üzere iki farklı elektrot baskı kuvvetinde Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplamalı elektrotlar ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama testi uygulanmıştır. Ortalama çekme makaslama yükü-uzama eğrileri Şekil 9'da gösterilmiştir.



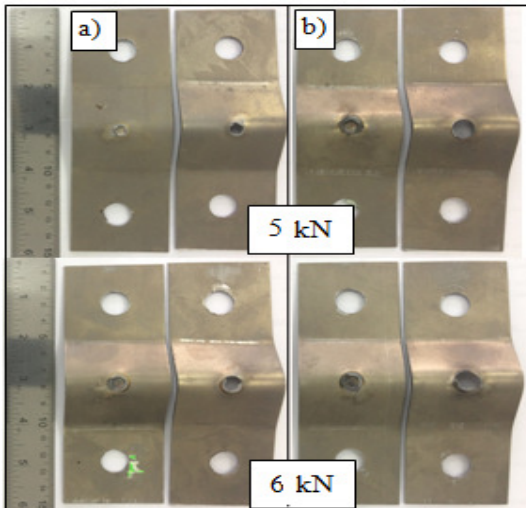
Şekil 9. Birleştirmelerin çekme makaslama diyagramı

Şekil 9'dan görüldüğü gibi, ticari olarak temin edilen Cu-Cr-Zr elektrotla, 5 kN elektrot baskı kuvveti ile elde edilen birleştirmelerin çekme makaslama taşıma yükü 16,91 kN, uzama miktarı %4,9 olarak belirlenmiştir. TiC-Co kaplamalı elektrot ile birleştirilen numunelerin çekme makaslama taşıma yükü 18,63 kN, uzama ise % 5,7 olarak tespit edilmiştir. Kaplamalı elektrotlarla birleştirilen numunenin taşıma yükü taşıma kapasitesi yaklaşık 1,8 kN, uzama miktarı ise 0,8 mm daha fazla olduğu bulunmuştur. Nokta direnç kaynağında meydana gelen toplam ısı girdisi (Q), formülü; $Q = I^2 \cdot R \cdot t$ şeklindedir. Burada I, kaynak akım şiddetini, t, kaynak zamanını ve R ise toplam direnci ifade etmektedir. Burada $R = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_6 + R_7$ 'dir. R_1, R_5 , elektrot

malzeme arasındaki temas direncini, R_2, R_4 , iş parçası dirençlerini, R_3 , kaynak edilecek malzemeler arasındaki direnci, R_6, R_7 ise elektrotların direncini ifade eder [21-23]. Elektrotların kaplanması ile burada toplam dirence, kaplama direnci olan R_8 ve R_9 da eklenmelidir. Temas dirençleri, farklı ısı girdisine ve dolayısıyla bağlantı dayanım özelliklerinin farklılaşmasına yol açar [23]. TiC-Co kaplama direnci, Cu-Cr-Zr kaplamasız elektrot direncinden daha fazladır. Kaplama direncinin artışı dolayısı ile artan direncin toplam ısı girdisine çok belirgin bir etkisi olmamakla birlikte, ısı girdisini bir miktar arttıracakı söylenebilir. Artan ısı girdisi, kaynak çekirdek boyutu artışına neden olacağından daha yüksek çekme-makaslama dayanımına neden olabilmektedir. Chan [17] çalışmasında TiC kaplamalı elektrotun, kaplamasız Cu-Cr-Zr elektrotta göre ısı girdisini yaklaşık %8.4 arttırdığını tespit etmiştir. Diğer taraftan kaynak sırasında kontak yüzeyler arasında oluşan ısı, teorik olarak çok hızlı bir şekilde çelik kalınlığı boyunca ilerleyerek elektrotlara doğru geçer. Elektrot ile iş parçası arasındaki TiC kaplama bu arayüzeyi izole eder ve kaynakta ısının hapsolmesine neden olur. Dolayısı ile kaplamalı elektrotlar ile yapılan birleştirmelerde aynı kaynak ısı girdisinde daha geniş kaynak çekirdeği oluşumuna neden olur [17]. Bu durumun kaplamalı numunelerin çekme-makaslama dayanımlarındaki artışa neden olduğu söylenebilir.

3.3. Çapraz Çekme Deneyi Sonuçları

Birleştirmelerin statik kuvvet etkisi altındaki davranışlarını ve numunelerin kırılma biçimlerini belirlemek için iki farklı elektrot ve iki farklı elektrot baskı kuvveti altında birleştirilen numunelere çapraz çekme testi uygulanmıştır. Numunelerin kırılma yüzey görüntüleri Şekil 10'de gösterilmiştir. Çalışmada Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplamalı elektrot ile 5 ve 6 kN olmak üzere iki farklı baskı kuvvetinde birleştirilen numunelerin tamamı test sonucunda istenilen şekilde düğmelenme biçiminde kırılma göstermiştir.



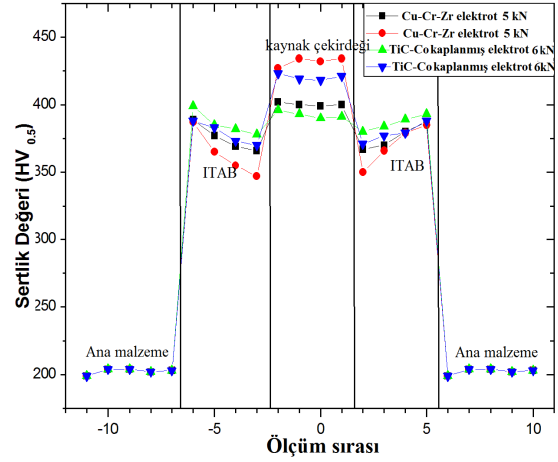
Şekil 10. Çapraz çekme deney numuneleri kırılma biçimleri a) Cu-Cr-Zr elektrot, b) TiC-Co kaplanmış elektrot ile birleştirilmiş numune

3.4. Sertlik Sonuçları

Birleştirmelerin sertlik ölçümü kaynak çekirdek merkezinden ana malzemeye doğru aynı hat üzerinde 50 μm mesafe aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Sertlik sonuçları grafiksel olarak Şekil 11'de gösterilmiştir

Cu-Cr-Zr elektrotla 5 kN elektrot baskı kuvveti altında yapılan birleştirmenin ana malzeme ortalama sertliği 203 $\text{HV}_{0,5}$, ITAB sertliği 375,25 $\text{HV}_{0,5}$ ve kaynak çekirdek sertliği ise 400,25 $\text{HV}_{0,5}$ olarak bulunmuştur. Aynı şartlarda TiC-Co kaplamalı elektrot ile yapılan birleştirmede ITAB sertliği 386 $\text{HV}_{0,5}$, kaynak metali sertliği ise 392,5 $\text{HV}_{0,5}$ olarak bulunmuştur. Kaplamalı elektrot ile birleştirilen numunenin çekirdek sertliği yaklaşık 7.75 $\text{HV}_{0,5}$ daha düşük, fakat ITAB sertliği ise yaklaşık 10,75 $\text{HV}_{0,5}$ daha yüksek olduğu gözle çarpmaktadır.

Cu-Cr-Zr elektrot ile 6 kN basınç altında yapılan birleştirmede ana malzeme ortalama sertliği 203 $\text{HV}_{0,5}$, ITAB sertliği 363,5 $\text{HV}_{0,5}$ ve kaynak çekirdek sertliği 431,75 $\text{HV}_{0,5}$ bulunmuştur. Aynı şartlarda TiC-Co kaplamalı elektrot ile yapılan birleştirmede ITAB sertliği 378,5 $\text{HV}_{0,5}$ kaynak çekirdek sertliği ise 420,25 $\text{HV}_{0,5}$ bulunmuştur. Kaplamalı elektrot ile birleştirilen numunenin çekirdek sertliği yaklaşık 11,5 $\text{HV}_{0,5}$ daha düşük, fakat ITAB sertliği ise yaklaşık 15 $\text{HV}_{0,5}$ daha yüksek olduğu gözle çarpmaktadır.



Şekil 11. Sertlik Sonuçları

Her iki elektrotla yapılan birleştirme kaynak çekirdeği sertlikleri birlikte değerlendirildiğinde yüksek sertlik için, kaynak çekirdeğinde ısı girdisine bağlı olarak Ac_3 sıcaklığının üzerine çıkılması ile çift fazlı çelik sacın kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak tamamen östenitik dönüşümün tamamlandığını ve ardından hızlı soğumayla martenzitik dönüşümün gerçekleştiği söylenebilir

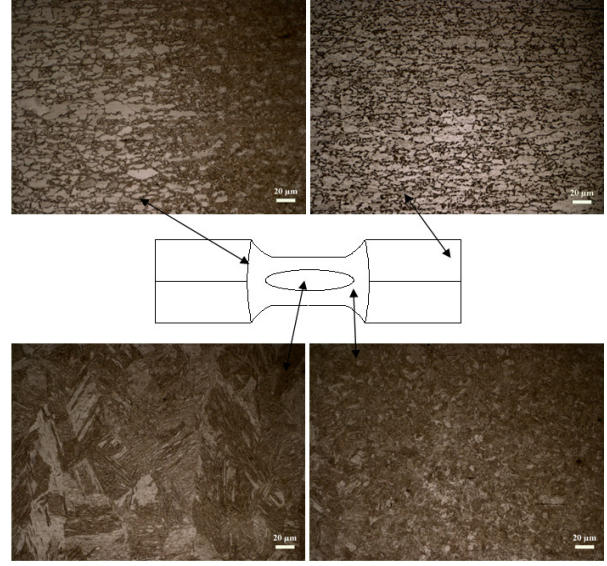
Her iki elektrot baskı kuvveti için birlikte değerlendirme yapıldığında; Cu-Cr-Zr elektrotla yapılan birleştirme kaynak çekirdeği sertliğinin azda olsa daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi elektrot ile iş parçası arasındaki ısının su soğutmalı Cu-Cr-Zr elektrot üzerinden daha hızlı transfer olarak iş parçası soğuma hızının arttırması olabilir. Sonuç olarak kaynak çekirdeğinde hızlı soğumaya bağlı olarak daha fazla martenzit hacim oranının oluşması sertliğin bir miktar yüksek bulunmasının sebebi olabilir. Diğer taraftan TiC-Co kaplamalı elektrot birleştirmelerinde elektrot üzerinden ısının uzaklaşması daha yavaş olduğu için ısının birleştirilen iş parçasında daha uzun süre kalarak ITAB'da ısının daha yüksek sıcaklıklara ulaşmasına diğer bir ifadeyle ve sıcaklığın Ac_3 üzerine çıkarak daha fazla östenit dönüşümün gerçekleşmesine neden olmaktadır. Termal çevrimle ilişkili müteakip hızlı soğuma koşullarına bağlı olarak da daha fazla martenzit fazı oluşumuyla ITAB'da daha yüksek bir sertliğe neden olduğu düşünülmektedir.

Tüm birleştirmelerin ITAB sertliği ana metal tarafında daha yüksek, kaynak çekirdeğine yakın tarafta ise daha düşük bulunmuştur. Bunun nedeninin kaynak termal çevrim etkisiyle kaynak çekirdeğine yakın olan bölgelerde tane irileşmesinin sorumlu olduğu düşünülmektedir. Çapraz çekme ve çekme makaslama deney numunelerinde düğmelenme şeklinde oluşan kırılmaların bu bölgelerden oluşması bu tezi desteklemektedir.

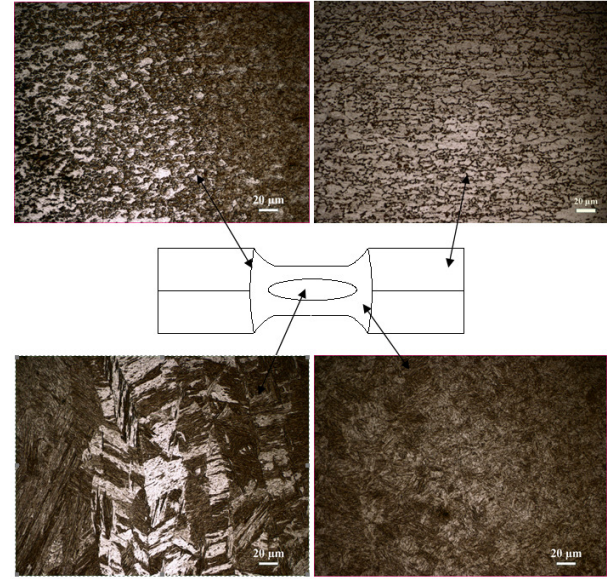
3.5. Mikroyapı Sonuçları

Çalışmada 5kN elektrot baskı kuvvetiyle Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplamalı elektrotlarla yapılan birleştirmelerinden elde edilen mikroyapı görüntüleri sırasıyla Şekil 12 ve Şekil 13'de gösterilmiştir. 6 kN elektrot baskı kuvveti altında yapılan birleştirmelerinden elde edilen mikroyapı görüntüleri ise sırasıyla Şekil 14 ve Şekil 15'de gösterilmiştir. Birleştirmelerin kaynak çekirdeği martenzit fazından oluşmaktadır.

Şekil 12-15 'den görüldüğü üzere Cu-Cr-Zr elektrot kullanılarak birleştirilen numune kaynak çekirdeği martenzit hacim oranının daha fazla olduğu tespit edilmiştir. TiC-Co kaplamalı elektrotla birleştirilen numune kaynak çekirdeği sertliğindeki bir miktar azalmanın martenzit hacim oranındaki bu farklılıkla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Birleştirme ITAB mikroyapısı tüm birleştirmeler için kaynak çekirdeğine yakın bölgede martenzit fazından meydana gelirken, DP600 ana malzemeye doğru ferritik matriste martenzit fazından oluşmaktadır. DP600 dual fazlı ana malzeme mikroyapısı ferrit ve martenzit fazlarından meydana gelmektedir.

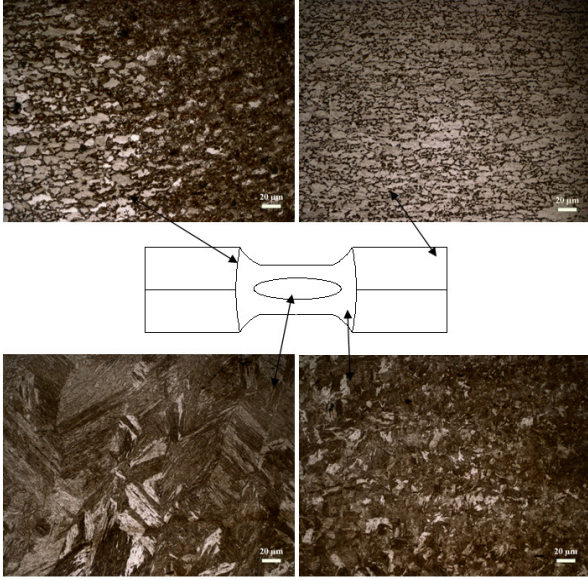


Şekil 12. Cu-Cr-Zr elektrotla 5kN elektrot baskı kuvvetinde birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü

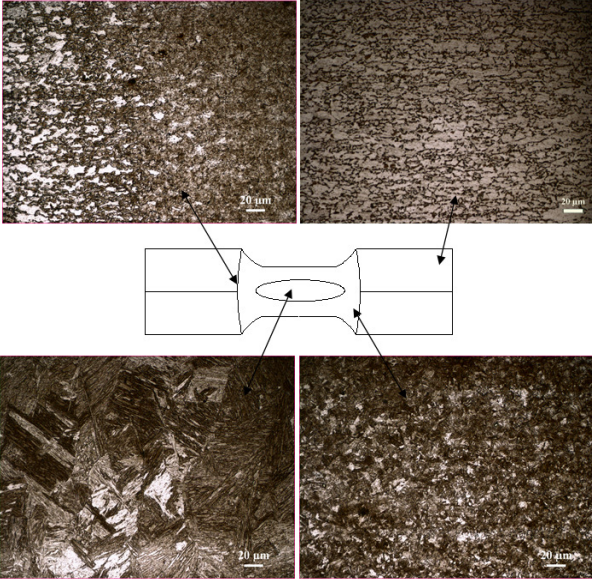


Şekil 13. TiC-Co kaplanmış elektrotla 5 kN elektrot baskı kuvvetinde birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü

Mikroyapı fotoğrafları genel olarak karşılaştırıldığında 6 kN elektrot baskı kuvveti altında yapılan birleştirmelerde ITAB tane boyutunun daha kaba olduğu dikkat çekmektedir. Yüksek elektrot baskı kuvvetiyle ilişkili yüksek plastik deformasyonla yeniden kristalleşme sıcaklığının düşmesi ITAB'da tane boyutu kabalaşmasına neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 14. Cu-Cr-Zr elektrotla 6 kN elektrot baskı kuvvetinde birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü



Şekil 15. TiC-Co kaplanmış elektrotla 6 kN elektrot baskı kuvvetinde birleştirilmiş numune mikroyapı görüntüsü

4. GENEL SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışma sonucu elde edilen genel sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- TiC-Co kaplanmış elektrotlarla elde edilen birleştirmelerde kaynak sayısına bağlı olarak elektrot uç büyümesinin (mantarlaşmanın) daha az olduğu tespit edilmiştir. Elektrot uç büyüme hızının azalması elektrot ömrünü arttırmaktadır.
- Kaynak işlemine bağlı olarak, elektrot kayıpları mukayese edildiğinde TiC-Co kaplanmış elektrot

kayıplarının daha yavaş bir ivmeyle azaldığı görülmektedir.

- TiC-Co kaplanmış elektrotlarla birleştirilen numunenin çekme makaslama yükü taşıma kapasitesi, ticari olarak temin edilen Cu-Cr-Zr elektrotlarla birleştirilen numunelerin taşıma yükü kapasiteleri ile mukayese edildiğinde yaklaşık 1,8 kN, uzama miktarı ise 0,8 mm daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- Çalışmada Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplanmış elektrotlarla 5 ve 6 kN olmak üzere iki farklı baskı kuvvetinde birleştirilen numunelerin tamamı çekme makaslama testi sonucunda istenilen şekilde düğmelenme biçiminde kırılma göstermiştir.
- Her iki elektrot baskı kuvvetinde, Cu-Cr-Zr ve TiC-Co kaplanmış elektrot birleştirme sertlikleri mukayese edildiğinde, kaplamalı elektrot ile elde edilen numunenin çekirdek sertliği yaklaşık 9,62 HV_{0,5} daha düşük, fakat ITAB sertliği ise yaklaşık 12,87 HV_{0,5} daha yüksek bulunmuştur. TiC-Co kaplamanın birleştirme kaynak çekirdeği sertliğini azalttığı, fakat ITAB sertliğini artırdığı tespit edilmiştir.
- Birleştirmelerin kaynak çekirdeği martenzit fazından oluşmaktadır. Cu-Cr-Zr elektrot kullanılarak birleştirilen numune kaynak çekirdeği martenzit hacim oranının, TiC-Co kaplanmış elektrotla birleştirilen numune kaynak çekirdeğine göre daha fazla olduğu düşünülmektedir. Birleştirme ITAB mikroyapısı tüm birleştirmeler için kaynak çekirdeğine yakın bölgede martenzit fazından meydana gelirken, DP600 ana malzemeye doğru ferrit matristeki martenzit adacıklarından oluşmaktadır. DP600 ana malzeme mikroyapısı ferrit matristeki martenzit fazlarından oluşmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] M. Arıkan, G. Başman (2002). Otomotiv Endüstrisi için Yeni Çelik Ürünler ve Özellikleri, 1. Demir Çelik Sempozyumu Bildiriler, vol. 1, p. 350-356.
- [2] F. Hayat (2010). TRIP çeliklerinin otomotiv endüstrisinde kullanımının incelenmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* vol. 25, 4, np. 701-712.
- [3] M. Marya, X.Q. Gayden (2005). Development of Requirements for Resistance Spot Welding Dual-Phase (DP600) Steels Part 1 The Causes of Interfacial Fracture, *AWS Welding Journal*, p. 172-182.
- [4] S. Brawser, L.A. Pepke, G. Weber, M. Rethmeier (2010). Deformation behavior of spot welded high strength steels for automotive applications, *Mater. Sci. Eng A*, vol.527, p.7099-7108.
- [5] C., Ma, D.L., Chen, S.D., Bhole, G., Boudreau, A. Lee, E., Biro (2008). Microstructure and fracture characteristics of spot-welded DP600 steel, *Mater Sci Eng A*. vol. 485, p. 334-346.
- [6] Word Auto steel, advanced high strength steel (AHSS) application guide lines, 4thEd. (2009). from <<http://www.wordautosteel.org>>

- [7] S. Dong, N. Zhou, C. Cheng, Y. Shi, B. Chang (2005). Electrode degradation mechanism during resistance spot welding of zinc coated steel using Cu-TiB₂ electrodes, *Transactions of Nonferrous Metals Society*, vol.15, p.1219-1225.
- [8] H. Huh, S.B. Kim, J.H. Song, J.H. Lim (2008). Dynamic tensile characteristics of TRIP-type and DP-type steel sheets for an auto-body”, *International Journal of Mechanical Sciences*, vol. 50, p.918–931.
- [9] W. Wu-rong, H. Chang-wei, Z. Zhong-Hua, W. Xicheng (2011). The limit drawing ratio and formability prediction of advanced high strength dual-phase steels. *Materials & Design*, vol. 32, 6, p.3320–3327.
- [10] T. Fujii, K. Tohgo, Y. Suzuki, T. Yamamoto, Y. Shimamura, Y. Ojima (2011). Fatigue properties of spot welded and spot weld-bonded joints of steel sheet. *Engineering Procedia*, vol. 10, p.1075-1080.
- [11] Megep, Elektrik direnç kaynağı, (2014) from http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Elektrik%20Diren%C3%A7%20Kayna%C4%9F%C4%B1.pdf.
- [12] S.P.H. Marashi (2016). Dissimilar spot welding of DQSK/DP600 steels: The weld-nugget growth. *Materials and Technology*, vol. 50, 5, p.761–765.
- [13] Y. Hong Gang, Z. Yan Song, L. Xin Min (2008). An experimental investigation on critical specimen sizes of high strength steels DP600 in resistance spot welding, *Materials & Design*, vol. 29, 9, p.1679–1684.
- [14] A. Ramazani, K. Mukherjee, A. Abdurakhmanov, M. Abbasi, U. Prael (2015). Characterization of Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded DP600 Steel, *Metals*, ISSN 2075-4701, p.1704-1716.
- [15] M. Tumuluru (2007). The Effect of Coatings on the Resistance Spot Welding Behavior of 780 MPa Dual-Phase Steel, *AWS Welding Journal*, ISSN 0043-2296, p.161-169.
- [16] R. Finlay, M. Samandi, S. Howes (1997). PVD Coating of Resistance Spot Welding Electrodes, *Australian Welding Journal*, vol. 42, p.18-23.
- [17] K.R. Chan (2005). Weldability and degradation study of coated electrodes for resistance spot welding, M.Sc. Thesis, University of Waterloo, Canada.
- [18] Huys Industries Limited, (2004), from <http://www.huysindustries.com/>,
- [19] S. Dong, Y., Zhou (2003). Effects of TiC composite coating on electrode degradation in microresistance welding of nickel-plated steel. *Metal. And Materials Trans. A.*, vol. 34A, p. 1501-1511.
- [20] K. Korkmaz (2008). Elektrosark biriktirme yöntemiyle mikroalaşımli çeliklerin tungsten karbür ile kaplanması, Doktora Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [21] M.Ş., Çimen, A., Akkuş (1999). Nokta direnç kaynağında sıcaklık dağılımının incelenmesi. *Kaynak Teknolojisi II. Ulusal Kongresi*, Ankara, p. 85-96.
- [22] B.İ., Eryürek (1976). Elektrik nokta direnç kaynağında temas direnci etüdü, Doktora Tezi, *İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi*, İstanbul.
- [23] Y., Kaya (2010). Titanyum sacların nokta direnç kaynağı ile kaynaklanabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi, Metal Eğitimi Anabilim dalı*, Karabük.

Authors addresses

¹Batuhan, BOZKURT, Karabük University, ManufacturingEngineeringDepartment,Karabuk,78050, batuhan_bozkurt@hotmail.com

²Hayriye, ERTEK EMRE, Karabük University, ManufacturingEngineeringDepartment,Karabuk,78050, hayriyeertek@karabuk.edu.tr

³Şükrü, TALAŞ, Afyon Kocatepe University, Technology Faculty, Metallurgical and Materials Engineering Department, Afyon, stalas@aku.edu.tr

⁴Ramazan, KAÇAR, Karabük University, Manufacturing Engineering, Department, Karabuk, 78050, rkacar@karabuk.edu.tr

Contact person

*Ramazan, KAÇAR, Karabuk University, Manufacturing Engineering, rkacar@karabuk.edu.tr

Microstructure and Hardness Properties of Hot Forged 30MnVS5 Steel Cooled in Different Mediums

Bariş Özlü¹, Halil Demir², Mustafa Türkmən*³, Süleyman Gündüz²

Abstract: In this study, the effect of cooling rate after closed die forging on the microstructure and mechanical properties of 30MnVS5 steel was investigated. For this purpose, steel samples were subjected to a controlled closed die forging followed by cooling in polymeric water, oil, air and sand mediums. Microstructure and mechanical properties were evaluated by optical microscopy and hardness test. The results indicated that samples cooled at different mediums after closed die forging showed ferrite, pearlite and martensite phases with different morphologies and grain size. There were also changes in hardness values depending on different cooling rate. The cooling rate has a remarkable effect on the microstructure and mechanical properties at room temperature.

Keywords: Forging, Microalloyed Steel, Cooling Rate, Microstructure.

1. Introduction

Steels have an indispensable place in the material groups used in engineering applications. Especially after the World War II, the steel demand for sea and land vehicles, fuel and natural gas pipelines, power plants and similar needs has increased. Various works have been started to increase the strength/weight ratio to allow the use of thinner steel having a smaller cross-section. In this way, the unit cost of production and operating costs has been reduced by the development of microstructural steels, which have a higher strength at smaller cross-sections [1,2].

Microalloyed steels is a group of materials with superior properties such as high strength, high toughness, low ductile-to-brittle transition temperature, excellent weldability and corrosion resistance by applying different hardening mechanisms and appropriate thermomechanical processes [3]. Although the studies on microalloying have been started before 1970s, there have been important developments especially between 1970 and 1980. In recent years, great improvements have been achieved in the mechanical properties of these steels with the addition of strong carbides and nitride forming elements such as Ti, Al, Nb and V in plain carbon steels. In this process, called microalloying, the total of alloying elements does not exceed 2% in general. Usually, this value is between 0.1 and 0.2% except for manganese. The advantages of these steels are that they have low alloys, have better machinability, are faster to produce, energy efficient and lighter in weight [4-6]. Therefore, such steels are used where low weight and high strength is required, such as cranes, high-speed transport vehicles, bridges and various constructions [7].

The purpose of producing microalloyed forged steels is to eliminate expensive heat treatments. The process used in forged parts have several heat treatment steps such as quenching, tempering, straightening after hardening and stretching. However, tensile properties equivalent of microalloyed steels are obtained through

precipitation hardening during air cooling after the forging temperature [8-9]. In this study, microstructure and mechanical properties were investigated in 30MnVS5 steels closed die forged at appropriate austenitization temperature followed by cooling in different mediums.

1.2. Experimental Studies

In the experimental studies, microalloyed 30MnVS5 steel, obtained from Asil Steel Industry and Trade Corp., were used. The chemical compositions of this steel is shown in Table 1.

Table 1. Chemical compositions of Microalloyed Steel.

Materials (microalloyed Steel)	C	Si	Mn	P	S	V
30MnVS5	0,30	0,50	1,46	0,010	0,032	0,087

Prior to forging, samples in dimension of Ø33mm diameter and 240mm length were obtained for as-received, sand, air, oil and polymeric water cooled conditions from the Ditaş Doğan Plant. A total of 21 samples, five samples for each cooling medium (sand, air, oil and polymeric water) and one for as-received samples, without forging process were cut.

The samples, except those in the as-received condition, were annealed at 1200 °C by using the induction annealing system. The temperature values before and after forging were measured by using a Raytek Raynger 3i Series infrared laser thermometer. After annealing, the samples were put into the mold of Voronezh brand 1600 tons eccentric press and forged. As a result of the forging in closed die, the diameters of the samples were reduced from Ø33 mm to Ø25 mm and the final temperature was measured as 1150±20 °C. After forging, the samples were cooled in the sand, air, oil and polymeric water in a controlled manner.

The surfaces of the samples were ground and the oxides and decarburization zones formed after the heat

treatment were removed. The samples were grinded by 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh sandpaper until removing all roughness on the surfaces. These surfaces were then polished with 6 μm , 3 μm and 1 μm diamond pastes. Finally, all prepared samples were etched in 3% Nital solution to examine the microstructure under an optical microscope. Microstructure analysis was performed using a Nikon ECLIPSE L150 optical microscope with X50-X1000 magnification capacity. Grain sizes, percentage of ferrite and pearlite phases of steel specimens were measured at appropriate magnification using a Clemex Vision Lite brand microstructure analysis system.

The microhardness measurements of the as-received samples and the samples cooled in different mediums after closed die forging were made with the Buehler Micromet 5103 brand Hardness Tester. Micro hardness measurements were carried out by applying HV1 (1000 gr.) load. The microhardness values were determined by taking the average of 10 hardness measurements from each sample.

1.3. Experimental Results and Discussion

1.3.1 Microstructure Analysis

Figure 1 shows the optical microstructure of the as-received samples. As can be seen from the figure, the original structures of 30MnVS5 steels consisted of the ferrite and pearlite phases.

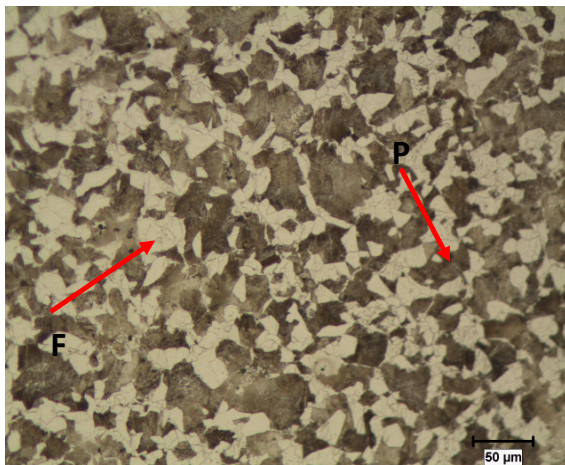


Figure 1. Microstructure of As-received steel (F: Ferrite, P: Pearlite).

Figure 2 shows the optical microstructure obtained from steel samples cooled in different mediums (sand, air, oil and polymeric water) after closed die forging. As seen from Figure 2 that steel samples cooled in sand or air after closed die forging showed ferrite and pearlite structures with different grain sizes (Fig. 2.a, b). The average mean linear intercept grain sizes, ferrite % and pearlite % calculated with the help of

microstructure images are presented in table 2.

Since the rate of cooling in sand is slower than the rate of cooling in air, microstructures of sand-cooled samples consisted of coarser ferrite and pearlite structures compared to the air-cooled samples (Table 2). Recrystallization and even grain growth may occur before the austenite-ferrite transformation at low cooling rates such as the one in sand cooling [10]. Therefore, it was observed that pre-eutectoid ferrite had a network distribution on the grain boundaries and that the 30MnVS5 samples showed coarse grains when they were cooled in sand after closed die forging since the sand cooling rate was slower than the air cooling rate. These results are consistent with the results obtained by Kaynar et al. [11].

The microstructure of 30MnVS5 samples cooled in oil after closed die forging showed a martensitic structure (Figure 3.c). This indicates that the cooling rate in oil is higher than the critical cooling rate of 30MnVS5 steel which is the minimum cooling rate to obtain martensite structure. The critical cooling rate in steel is influenced by the alloying elements. Alloying elements shift the CCT and TTT diagrams to longer times, permitting to obtain all martensite [12, 13]. A similar situation was observed in the samples cooled in polymeric water, leading to completely martensitic structure as shown in Figure 3.d.

Table 2. Volume fraction of ferrite and pearlite and mean linear intercept grain sizes of as-received and sand cooled samples.

Sample	Ferrite (%)	Pearlite (%)	Ferrite Grain Size (μm)	Pearlite Grain Size (μm)
As-received	38	62	11	20
Sand	25	75	9	30
Air	23	77	4	16

1.3.2 Hardness

Hardness results of the as-received sample and samples cooled in sand, air, oil and polymeric water after closed die forging shown in Figure 3. As can be seen that the samples cooled in oil and polymeric water found to have higher hardness values than those cooled in sand and air. This is due to the martensite phase in the samples cooled in oil and polymeric water after closed die forging. In addition, air cooled samples showed higher hardness values than sand cooled samples. The reason for this is the change that takes place in the microstructure due to the different cooling rate [14-16]. For example, air cooled samples showed smaller ferrite and pearlite grain size and slightly higher percentage pearlite which increase the strength of the air cooled samples.

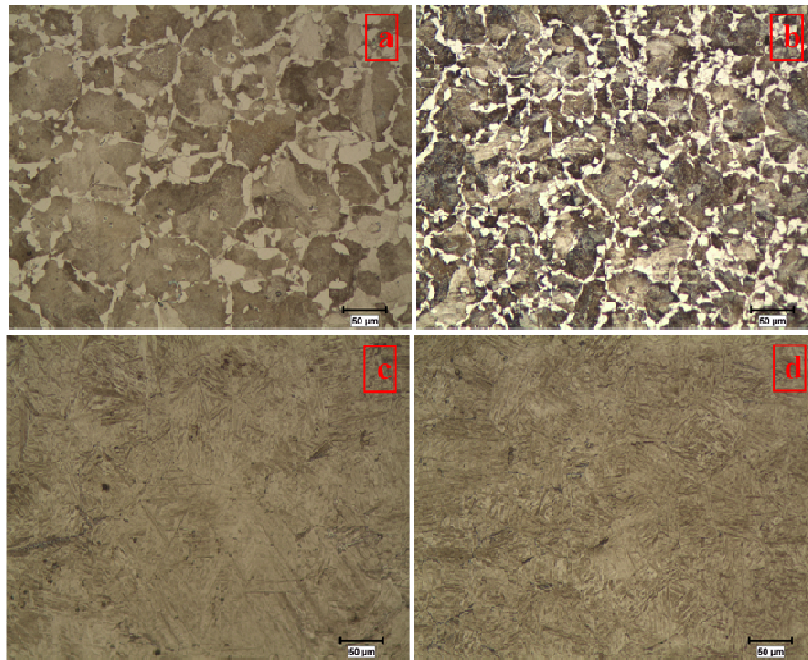


Figure 2. Microstructures of 30MnVS5 steel cooled in different mediums; (a) sand, (b) air (c) oil and (a) polymerized water.

Ridley et al. [17] studied the strength of steel with eutectoid compositions containing vanadium and suggested two factors attributed for the increased strength of steel. First, addition vanadium in the steel causes lower distance between the pearlite lamellae, which is also a consequence of the decrease in the austenite pearlite transformation temperature. Second, the addition of vanadium to the steel increases the strength of the steel by forming VCN precipitates in the ferrite phase obtained as a result of eutectoid transformation and in the pearlitic structure. A study which was carried out by Bepari [18] has also shown that low-carbon steels containing vanadium form precipitates such as small VCN when they are continuously cooled. In addition, it has been reported that the increase in cooling rate has reduced the transformation temperature and caused the formation of homogeneously distributed small VCN precipitates in the structure. Similar results have been reported in a study by Karabulut and Gündüz [19].

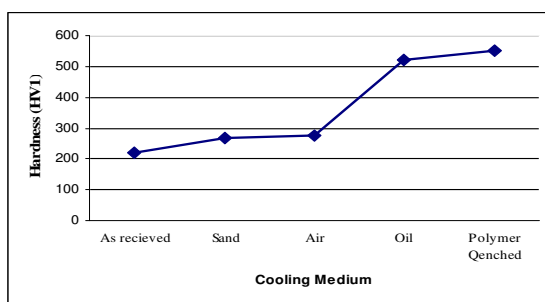


Figure 3. Hardness test results of samples (HV₁)

1.4. Conclusions

In this study, the microstructure-hardness relationship of 30MnVS5 steel cooled in different mediums after closed die forging was investigated. For this purpose, microalloyed steel samples were cooled in sand, air, oil and polymeric water mediums after closed die forging at appropriate austenitizing temperature. Hardness values of these samples, which were cooled in different mediums, were measured and microstructure images were taken and analyzed comparatively. The results obtained are listed below.

1. Air cooled samples were found to be consisted of thinner ferrite and pearlite phases compared to that of samples cooled in sand. This is because of air cooling which is faster than sand cooling.
2. It was found that the samples cooled in oil and in polymeric water have martensitic structure. This is a result of higher cooling rate required to form the martensitic structure in the steel.
1. The hardness values of sand and air-cooled samples with ferritic and perlitic structure were lower than those of samples cooled in oil and polymeric water due to slow cooling after closed die forging. This is due to the martensite phase existed in the samples cooled in oil and water.

Acknowledgments

We thank the authorized personnel of Ditaş Doğan Spare Parts Manufacturing and Technical Co. Inc. for their support.

REFERENCES

- [1] Çemtaş Bulletin, (1996). Forging purpose micro alloy steel, p. 3-4.
- [2] Çapar A. (2005) “The effect of forging and different cooling condition on microstructure and mechanical properties of microalloyed forging steels”, Zonguldak Karaelmas University Applied Sciences Department of Metal Education, p. 3.
- [3] Lawrow P., (2000) “Welding considerations with high-strength steel”, Modern steel constructions, August, USA.
- [4] Erden M. A., (2015). “An investigation on the relation between microstructure and mechanical properties of microalloyed steels produced by powder metallurgy”, Karabük University Graduate School of Natural and Applied Sciences Department of Manufacture Engineering
- [5] Bai DQ, Yue S, Maccagno TM, Jonas JJ. (1998) “Effect of deformation and cooling rate on the microstructures of low carbon NB-B steels”, ISIJ International, 38:371-379.
- [6] Li Y, Crowther DN, Green MJW, Mitchell PS, Baker T. (2001) “The effect of vanadium and niobium on the properties and microstructure of the intercritically reheated coarse grained heat affected zone in low carbon microalloyed steel”. ISIJ International, 41:46-55.
- [7] Yılmaz R, Çelik F, Tümer M., (2012) “Investigation of Tensile Strength of High Strength Low alloy Steel Weldment By FCAW”, International Iron & Steel Symposium, p. 789-796.
- [8] Demir, H., Çiftçi, İ., Türkmen, M., Gündüz, S. (2011) “The Influence of Heat Treatment and Hardness on the Machinability of Alloyed and Non-Alloyed Medium Carbon Steels”, in IATS’II, 6th international advanced Technologies Symposium, p. 94-97.
- [9] Çeviker, I. (1991) “microstructural characterization and micro-structure mechanical properties relationship in microalloyed forging steels”, İTÜ Graduate thesis of Graduate School of Natural and Applied Sciences
- [10] Jahazi M, Eghbali B. (2001) “The influence of hot forging conditions on the microstructure and mechanical properties of two microalloyed steel” J. Mater. Process. Tech. 113:594-598.
- [11] Kaynar A, Gündüz S, Türkmen M. (2013) “Investigation on the behaviour of medium carbon and vanadium microalloyed steels by hot forging test” Materials and Design 51:819-825.
- [12] Savaşkan, T.(1999) Material Information and Examination, KTÜ, Trabzon.
- [13] Tekin, A. (1984) Steel and Heat Treatment, İTÜ, İstanbul.
- [14] Demir, H., Çiftçi, İ., Türkmen, M., Gündüz, S. (2011) “The Influence of Heat Treatment and Hardness on the Machinability of Alloyed and Non-Alloyed Medium Carbon Steels”, in IATS’II, 6th international advanced Technologies Symposium, p. 94-97.
- [15] Gündüz S, Karabulut H, Erden MA, Türkmen M. (2013) “Microstructural effects on fatigue behaviour of a forged medium carbon microalloyed steel,” Materials Testing-Materials and Components Technology and Application 55:865-870.
- [16] Gündüz S, Çapar A.(2006) “Influence of forging and cooling rate on microstructure and properties of medium carbon microalloy forging steel, ” Journal of Mat. Sci. Letters, 41:561-564.
- [17] Ridley N, Lewis MT, Morrison WB. (1982) Advances in physical metallurgy and applications of steels, Metal Society, London.
- [18] Bepari, M.A. (1990) “Structure of continuously cooled low-carbon vanadium steel,” Metallurgical Transaction A, 21:2839-2855.
- [19] Karabulut H, Gündüz S. (2004) “Effect of vanadium content on dynamic strain ageing in microalloyed medium carbon steel,” Materials and Design 25:521-527.

Authors' Addresses:

¹Barış Özlü, Lecturer, Department of Mechanical and Metal Technology, Vocational School of Technical Sciences, Aksaray University, Aksaray/ Turkey, barisozlu@aksaray.edu.tr

²Halil DEMİR, ⁴Süleyman GÜNDÜZ, Professor, Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Technology, Karabük University, Karabük/ Turkey 2hdemir@karabuk.edu.tr, 4sgunduz@karabuk.edu.tr

³Mustafa TÜRKMEN, Assis. Professor, Department of Metallurgy, Vocational School of Hereke, Kocaeli University, Kocaeli/Turkey, mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr

Corresponding Author:

* Mustafa TÜRKMEN, Assis. Professor, Department of Metallurgy, Vocational School of Hereke, Kocaeli University, Kocaeli/Turkey, mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr

Gas Atomization Unit Design and Manufacturing For Metal Powder Production

Mehmet Akkaş¹, Tayfun Çetin², Atakan Oğuz Ocak³, Mustafa Boz⁴

Abstract: *In this study, which have been made the design and manufacture of the gas atomization unit. The Gas Atomization Unit consists of seven basic sections. These sections can be indentified as; Melting furnace, Atomization tower, Nozzle, Powder collecting division, Cyclones and Gas pressure ramp and control panel. The melting furnace is designed to be capable of operating at temperatures up to approximately 1200 °C. With the aim of prevent the oxidation of molten metal and produced powder, from the sides the of the melting furnace and from tower Argon gas is continuously being sprayed. The melting process is carried out in stainless steel melting pot according to the chemical composition of the material. Al and Mg alloy powders were produced first with the gas atomization unit manufactured and designed. It was ascertained that the powders produced were between 0,1 microns and 750 micron and size of the 90 percent of the produced powders were below 100 microns. Besides it was observed that size of powders was decreased depending on the increase of the gas pressure and changed their shapes from ligament to spheroidal.*

Keywords: Gas atomization, Design and manufacturing, Powder production

1 POWDER METALLURGY

Powder metallurgy, which is one of the metal manufacturing methods, is a widely used method at various application fields. This widespread use is due to the high manufacturing quality and the ability of manufacturing very complicated parts economically. Thus, with such a method, the production of various materials increases with time and replaces the conventional metal processing methods.

Powder metallurgy production method can be defined as; Metal and non-metal powders, and by blending and mixing these powders which are produced, the mixture is pressed in a mold to receive the desired geometry and then sintered. This method consists of specific steps such as powder production, mixing of the produced powders, pressing and sintering of the powders [1,2]. Solid particles with a very fine characteristic of less than 1 mm in size can be characterized as powder [3]. Powders can be usually metallic or non-metallic. The most important feature of a powder is its low volume related to its surface area [4,5].

Determining the methods of producing metallic powders in powder metallurgy is crucial for the manufactured powder and for the material to be manufactured. For the manufacturing of powders, particle size, particle size distribution, particle shape, and the structure of powders are also important as the chemical composition and purity [6].

Production of metal powders are done by 4 different methods. These are;

1. Mechanical methods
2. Atomization methods
3. Chemical methods
4. Electrolysis method [7].

Generally, any material that can be melted can be pulverized. However, since the most efficient method in terms of production cost is atomization, more than 65% of metal or nonmetallic powders are produced by

atomization method. Atomization is the process of pulverizing molten metal by spraying gas or water while flowing vertically or horizontally [8].

The production of metallic powder by chemical method is the process of chemical reduction of the metal into powder by elementally. Electrolysis is the process of dissolving the metal by using electrical current and pulverizing it. Metal ions solved on the anode pass through electrolyte and accumulate on the cathode. Porous deposit on the cathode is peeled, washed, dried, grinded and powderised [6].

2 ATOMIZATION PROCESSES

In the atomization technique, most of metals that can be melted can be shaped into the powders. This technique; is the process of scattering a melt into very small droplets at different sizes. The atomization is a process in which droplets formed by the decomposition of a liquid metal with a high velocity gas such as nitrogen, argon or helium are suddenly and extremely cooled and solidified into powder. The most widely used atomization methods are; water, gas, centrifugal (rotating disc), rotating electrode and vacuum atomization methods. In powder production technique, controlling the shapes and sizes of powders was impossible to carry out before the atomization method. The most important feature of this method is the ability of controlling the shapes and sizes of the powders. Water or gas atomization methods are preferred to produce powders cheaper and in high capacity.

3 GAS ATOMIZATION UNIT

Atomization studies were carried out in Gas Atomization Unit that designed and manufactured, at Karabuk University, Technology Faculty, Manufacturing Engineering Department. As seen on Fig.1 Gas Atomization Unit is consist of seven main parts. These parts can be defined as;

1. Melting furnace,
2. Atomization tower,
3. Nozzle and nozzle holder,

4. Powder collection unit,
5. Gas pressure ramp,
6. Cyclones,
7. Control panel.



Fig. 1. Gas atomization unit

3.1 Melting Furnace

The melting furnace has been manufactured as be able to reach up to approximately 1200 ° C. Inner view of the melting furnace is given on Fig.2. Gas inlet and outlet units are placed on the sides of the melting furnace in order to create a protective gas atmosphere, atomize the molten metal and prevent the oxidation, during the melting. Depending on the chemical composition of the material to be melted in the melting process, it is made of graphite or stainless steel melting pot in the furnace (Fig. 3). Graphite stopper with a worm gear is used to control of the flow of molten metal inside the melting pot. Measurement of the temperature of molten metal is carried out by two thermocouples where placed inside the and outside of the graphite melting pot.



Fig. 2. Inner view of the melting furnace



Fig. 3. Stainless steel melting pot

3.2 Atomization Tower

Atomization tower made of stainless steel is produced in a shape that prevents the colliding of powders onto the wall (Fig. 4). Produced powders are gathered in the powder collection unit which placed at the lowest part of gas atomization unit. Two cyclones are designed serial to each other for the evacuation of the used gas from the atomisation tower and for the retention of fine powders.



Fig. 4. Atomization tower

3.3 Nozzle and Nozzle Holder

In order to atomize the liquid metal, a nozzle system with 4 different diameter nozzles that closely matched and supersonic geometries was used. Nozzle has been placed on the nozzle holder in the melting furnace. Nozzle and nozzle holder are made of 310S stainless steel those are used in atomization process and shown in Fig. 5. Nozzle tips are manufactured in the sizes of 2, 3, 4 and 5mm. Heating of nozzles are crucial in the closely matched systems. In the event of placing nozzle system outside the melting station, the temperature at the nozzle tip and flow rate of liquid metal will. By this reason, solidification of the flowing

metal at the tip of the nozzle was avoided by placing nozzle system used in this study inside furnace.

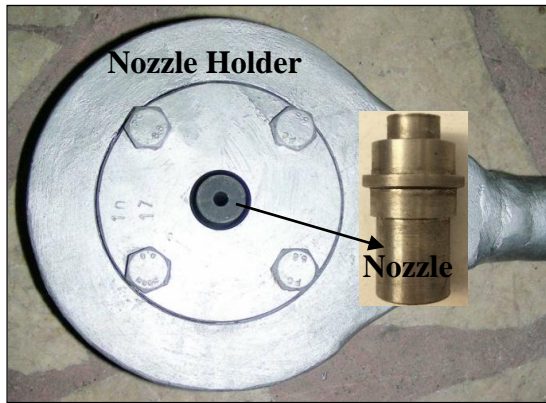


Fig. 5. Nozzle and nozzle holder

3.4 Powder Collection Unit

Produced powders are gathered on the powder collection unit at the bottom of atomization tower and at the bottoms of serially connected cyclones (Figure 6). Powder collection unit and cyclones are made of stainless steel. Inner parts of gas atomisation unit and cyclones were cleared after every experiment carried out. Produced powders were stocked in the desiccators to avoid oxidation on powders.



Fig. 6. Powder collection unit

3.5 Gas Pressure Ramp

Three argon tubes were connected to gas ramp to stabilize the pressure value and prevent fluctuation during the atomization process. Gas pressure ramp and manometer used in atomization process are given in Fig. 7.

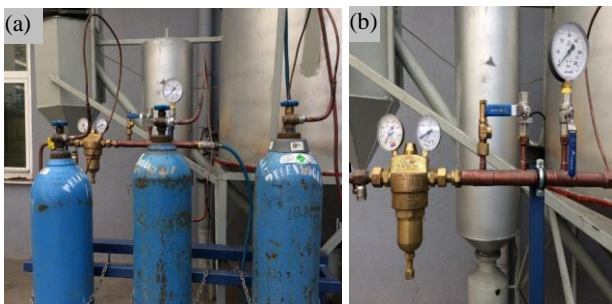


Fig. 7. a) Gas pressure ramp b) Manometer

3.6 Cyclones

Two serially connected cyclones were used to evacuate used gas and gather the fine powders. Image of the cyclones are given in Fig. 8.



Fig. 8. Cyclones

3.7 Control Panel

Temperature control which is one of the atomization parameters is made by the indicators those placed on the control panel. The image taken from the control panel is given in Fig. 9.

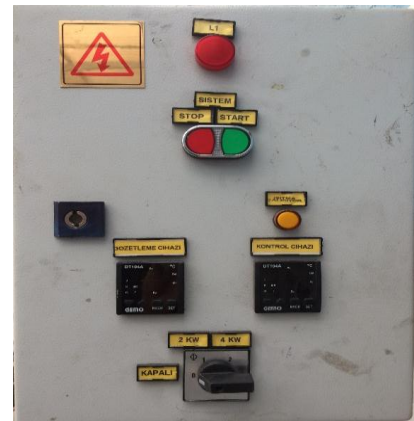


Fig. 9. Control panel

4 EXPERIMENTAL STUDIES

In the gas atomization unit designed and manufactured, $Al_{12}Si$ powder was firstly produced at different nozzle diameters and at different gas pressures. Afterwards powder production of AZ91, AM60 and AZ31 magnesium alloys were carried out. Images of $Al_{12}Si$ powders which were manufactured with 2 mm nozzle diameter and 30 bars gas pressure value is given in Fig. 10.a and b, in d and e; SEM images of AZ91 alloy powders which were produced with 2 mm nozzle diameter and 35 bars gas pressure values can be seen.

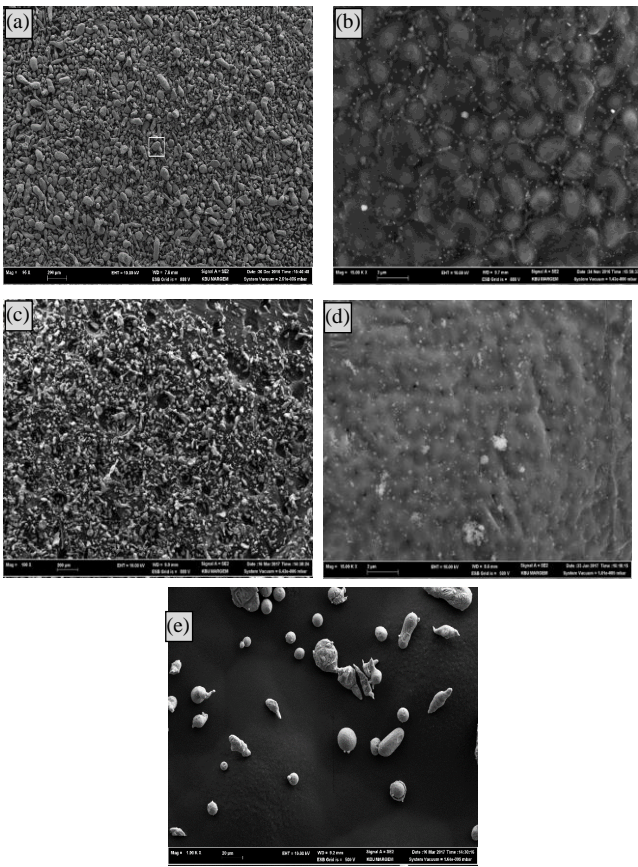


Fig. 10. SEM images of $Al_{12}Si$ ve AZ91 alloy powders SEM görüntüleri: a) 100 X, b)15000X, c) 100 X, d) 15000 X, e) 1000 X

Production of ligament, rod, droplet, flake and spherical shaped powders in the gas atomisation unit, which is designed and manufactured, can be seen in Fig. 10. Powder size distribution of AZ91 alloy is given in Fig. 11. Powder size measurement were carried out with Mastersizer 3000 model device.

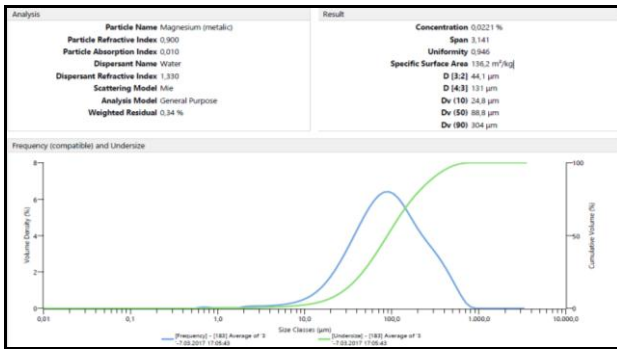


Fig. 11. Powder size distribution

As shown in Fig. 11, the size range of the produced AZ91 alloy powder is 0.1 to 800 microns. On the other hand, 10% of the produced powders are composed of powders under 24.8 μm , 90% are composed of powders under 304 μm . Average powder size were noted as 88,8 μm .

5 CONCLUSIONS

The following conclusions were drawn in the related studies with Gas Atomization Unit that designed and

manufactured, at Karabuk University, Technology Faculty, Manufacturing Engineering Department.

1. Powder production has been successfully carried out in the new gas atomization unit which is designed and manufactured.
2. Powders with different shapes and sizes were produced at Gas Atomization Unit.
3. It has been found that the size of the powder is reduced due to the increase of the gas pressure and the reduction of the nozzle diameter.
4. Maximum 35 bar gas pressure can be worked on the manufactured device. Positive pressure is formed on the tip of the nozzle at the higher values.
5. Melting unit allows maximum 1200 °C temperature for continuous operation.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by Scientific Research Projects Coordination Unit of Karabük University. Project Number: KBÜ-BAP-15/2-DR-001

REFERENCES

- [1] ERSÜMER Aram, 'Toz Metalürjisi', İ.T.Ü. Makine Fakültesi, 1970, İstanbul
- [2] Demirkesen, E., 2003. *Kompozit Malzemeler Ders Notları*, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [3] Oğuz, Ş; Öztürk, Z; Uzun, E; Kurt, A; Boz, M. Gaz atomizasyonu yöntemi ile kalay tozu üretiminde gaz basıncının toz boyutu ve şekline etkisi. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 2011, 565-568.
- [4] Aydın, M. ve Ünal, R., "Laval tipi yeni bir nozul tasarımı ile metal tozu üretimi ve üretim değişkenlerinin etkisinin incelenmesi", Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (1): 69-76 (2007).
- [5] Uslan, İ. ve Küçükarslan S., "Kalay tozu üretimine gaz atomizasyonu parametrelerinin etkisinin incelenmesi" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 25, No (1): 1-8 (2010).
- [6] Newkirk, J.W. and Kosher, R.A., 2004. Designing with Powder Metallurgy Alloys, *in Handbook of Mechanical Alloy Design*, Eds. Totten, G.E., Xie, L. and Funatani, K.M., Dekker, New York.
- [7] Sarıtaş, S., and Doğan, C. (1994), Metal powder production by centrifugal atomization, *Int. J. Powder Metallurgy*, 30, 419 – 427.
- [8] Clyne, T.W., 2001. Metal Matrix Composites: Matrices and Processing, in Encyclopaedia of Materials: Science and Technology, Ed. Mortensen, A., Elsevier.

Authors addresses

¹*Mehmet Akkaş, Cide Rifat Ilgaz Vocational High School, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey, mehmetakkas@kastamonu.edu.tr*

²*Tayfun Çetin, Manufacturing Engineering Department, Technology Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey, tayfuncetin@outlook.com*

³*Atakan Oğuz Ocak, Manufacturing Engineering Department, Technology Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey, aoocak@karabuk.edu.tr,*

⁴*Mustafa Boz, Manufacturing Engineering Department, Technology Faculty, Karabuk University, Karabuk, Turkey, mboz@karabuk.edu.tr*

Contact person

**Mehmet Akkaş, Cide Rifat Ilgaz Vocational High School, Kastamonu University, Kastamonu, Turkey, mehmetakkas@kastamonu.edu.tr*

Dinamik Ağırlık Ölçümü ve Adaptif Filtre Uygulaması

İsmail YABANOVA^{1*}, Mesut YANIK²

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Technology, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey¹

¹iyabanova@gmail.com, ²mesutyunik3@gmail.com

Özet: Üretim kapasitelerinin hızla arttığı günümüzde ürünlerin tartılabilmesi için tartım işleminin hızlı, hassas ve ekonomik olması gerekmektedir. Hızlı tartım gereksinimini karşılamak için geliştirilen dinamik tartım sistemlerinde ürünler tartım yapılan platformdan hareket halinde geçerken tartılmakta ve bu sayede birim zamanda ölçülen ürün sayısı artmaktadır. Ancak tartım sisteminde meydana gelen titreşimler ölçüm sinyali üzerinde olumsuz bir etki oluşturmaktadır. Dinamik tartım sistemlerinde ürünlerin ağırlığının belirlenebilmesi için ölçüm sinyalinin uygun filtreler ile filtrelenmesi gerekmektedir. Kullanılacak olan filtrelerin seçimi yapılırken sistem için gerekli olan hız ve hassasiyet değerleri dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada 12 adet yunurtanın dinamik tartım sistemi ile tartılması sonucu elde edilen gürültülü ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemek için filtre tasarımı uygulanmıştır. Filtre tasarımı için adaptif LMS filtresi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde adaptif LMS algoritması ile ağırlık katsayı değerleri ayarlanan FIR filtrenin başarılı bir şekilde dinamik tartım uygulamalarında kullanılabileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dinamik Tartım Sistemi, Adaptif Sinyal Filtreleme, LMS Filtre

1 GİRİŞ

Modern endüstriyel sistemlerde tartım işleminin önemli bir rolü vardır. Seri üretim sistemlerinde hızlı ve hassas tartım işlemine olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Günümüzde artan nüfus ve yaşam standartlarına bağlı olarak insanların ürün ve hizmet taleplerinde de artış meydana gelmektedir. Artan bu talepleri karşılayabilmek için de üretimin hızlı ve kaliteli olması gerekmektedir. Statik tartımın yavaş ve kapasitesi düşük olması ve bazı pratik uygulamalar için uygun olmaması nedeniyle ürünleri hareket halinde iken tartmak daha hızlı ve ekonomik olabilmektedir [1].

Dinamik tartım sistemleri kimya, tıp, eczacılık, gıda, ulaşım vb. olmak üzere çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bu nedenle dinamik tartım sistemleri birbirlerinden farklı yapı ve özelliklere sahiptirler. Ancak genel hatları ile incelendiğinde dinamik tartım sistemleri checkweigher (otomatik kontrol terazisi) ve weigh-in-motion (otomatik kontrol kantarı) (WIM) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Otomatik kontrol terazisi genel olarak endüstriyel uygulamalarda kullanılırken WIM ise ulaşım sektöründe araçların tartımı için kullanılmaktadır. WIM sisteminin en temel karakteristik özellikleri yüksek hassasiyet, zaman tasarrufu ve trafik akışını bozmadan tartım işlemini yapabilesidir [2]. Bu sistemlerin kullanımı ile araçların tartım istasyonlarındaki bekleme süresini azaltılarak hem sürücüler hem de tartım istasyonları için önemli derecede ekonomik kazanç sağlanmaktadır [3]. WIM sistemi ile ilgili çalışmalara hem karayollarında hem de demiryollarında rastlanmaktadır. Meixedo vd. tarafından yapılan çalışmada dinamik tartım için tasarlanan sistem tren rayları üzerine yerleştirilmiştir. Bu sistem sayesinde trenin hareketi sırasında raya uyguladığı ağırlık kuvvetini ölçülmektedir. Rayların bu

ağırlık kuvveti altında ne kadar süre dayanabileceği hesaplanarak bu süreden önce rayların bakım ve yenilenme işleminin yapılması sağlanarak bakım maliyetleri azaltılarak ve güvenli bir ulaşım sağlamayı amaçlanmaktadır [4]. Xiao ve Lv tarafından yapılan çalışmada otobanlarda araçların yüksek hızlarından, tartım sistemlerinden ve çevre koşullarından dolayı meydana gelen yüksek frekanslı gürültülerin düşük frekanslı ölçüm sinyalleri ile birleşerek hızlı ve hassas ölçüm yapmayı engellediğini belirtilmektedir. Bu yüksek frekanslı gürültüleri yok etmek için hem zaman alanında hem de frekans alanında çoklu analiz yapabileceğine sahip olan dalgacık dönüşümünü kullanılmaktadır [3]. Rui vd. tarafından yapılan çalışmada araçların dinamik tartım istasyonu üzerinde çok kısa süre kaldığını belirtilmiştir. Ölçüm sonuçlarına araç lastiklerinden, çevresel etkilerden ve ölçüm sisteminden kaynaklanan gürültüler eklendiği ve bu etkilerin ortadan kaldırılabilmesi için kendi kendine uyarlanan adaptif LMS öğrenme algoritması tabanlı yapay sinir ağı oluşturularak hassas ve hızlı ölçüm sonuçları elde etmeye çalışılmıştır [2].

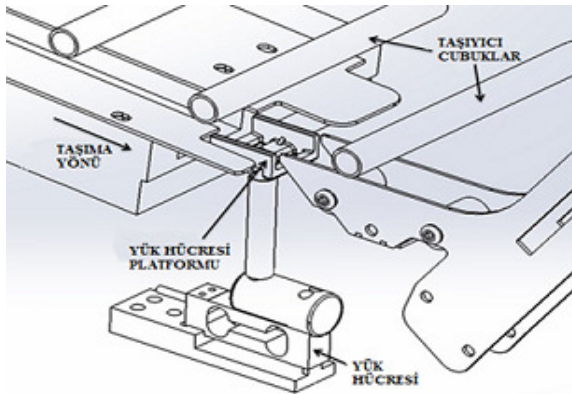
Otomatik kontrol terazisi sistemleri ise belirli bir hat boyunca ilerleyen bir ürünün ağırlığını tartmak için geliştirilmiş sistemlerdir. Endüstriyel üretim sistemlerinde tartım işlemini hızlı ve ekonomik olarak yapabilesinden dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır. Halimic vd. yaptıkları çalışmada bulanık mantık ile yapay sinir ağlarını birleştirilmiştir. Dinamik tartım sistemi tarafından ölçülen gürültülü ağırlık verileri bu iki yöntemin birleştirilmesi sonucu filtrelenmektedir [5]. Xiaoyan, ve Zhenliang yaptıkları çalışmada dinamik tartım sistemlerinde hız arttıkça hassasiyetin azaldığını belirtilmiştir. Yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemlerinin birleştirilmesi ile bir kontrolcü kartı tasarlanmıştır. İki farklı yöntemin

birleştirilmesi ile yüksek hızlardaki hassasiyet sorununun önüne geçmeye çalışılmaktadır. Dinamik tartım sistemine bu kontrolcü kartı entegre etmişler ve 50 kg'lık bir ürünün tartım süresinin 6,75 sn kısaltıldığını ve hassasiyetin %4 olduğu belirtilmiştir [6]. Halimic ve Balachandran yaptıkları çalışmada hareketli tartım sistemlerine rampa, sinüs ve kosinüs fonksiyonları uygulayarak elde ettikleri sonuçlara göre sistemin matematiksel modelini çıkartılmıştır. Bu modele uygun olarak kalman filtre katsayılarını belirleyerek gürültülü sinyale kalman filtresini uygulamıştır. Filtre sonuçlarının gerçek değerlere yakın olduğunu gözlemlenmiştir [7].

Bu çalışmada adaptif LMS algoritması kullanılarak FIR filtre katsayıları belirlenmiş ve bu filtre ile dinamik olarak tartılan yumurtaların ölçüm sinyalinin filtrelenmesi sağlanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde adaptif LMS algoritması kullanılan filtrelerin dinamik tartım uygulamalarında rahatlıkla kullanılabileceği görülmüştür.

2 DİNAMİK AĞIRLIK ÖLÇÜM SİSTEMİ

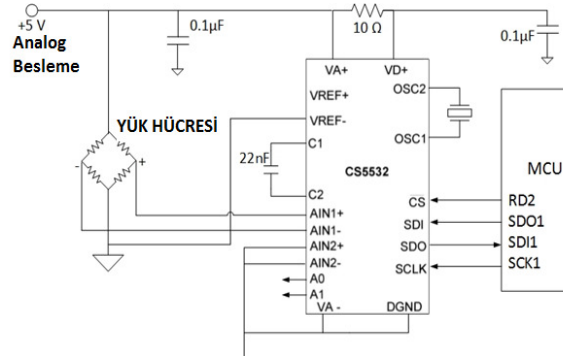
Yumurtaların dinamik olarak tartımını sağlayacak mekanik sistemde yumurtalar yük hücresinin platformu üzerinden yuvarlanarak geçmektedirler. Sistemin çalışma hızı değiştirilerek yumurtaların platform üzerinden geçiş hızları ayarlanabilmektedir. Şekil 1' de tartım sistemi verilmiştir. Yumurtalar eğik bir düzlem üzerinden taşıyıcı çubuklara dayalı bir halde gelmektedir. Yük hücresi platformu yatay olarak tasarlandığından dolayı platform üzerinde taşıyıcı çubuklardan ayrılarak ağırlık ölçümünü etkileyecek her hangi bir kuvvete maruz kalmadan platform üzerinden yuvarlanarak geçmektedirler.



Şekil.1. Dinamik tartım sistemi [8].

Yük hücresinden gelen analog ağırlık sinyalini dijitalle çevirmek ve yükseltmek için $\Delta\Sigma$ ADC entegresi ve bu entegrenin çevirdiği dijital sinyali okumak için mikro denetleyici kullanılmıştır. Mikro denetleyici ve ADC entegresi SPI ile haberleşmektedir. ADC entegresinin gerekli ayarları yine mikro denetleyici ile SPI üzerinden gönderilerek yapılmaktadır. Daha sonra sürekli olarak gerekli registerlar okunarak dijitalle

çevrilmiş sinyal elde edilmektedir. Şekil. 2.' de ağırlık ölçümü için kullanılan elektronik devre verilmiştir.



Şekil. 2. Dinamik tartım sisteminin devre şeması

3 ADAPTİF FİLTRE UYGULAMASI

Adaptif filtreler giriş sinyalinin istatistiksel bilgisinin bulunmadığı durumlarda tekrarlı algoritması ile bulunduğu ortama göre kendini ayarlayarak istenilen çıkışın oluşmasını sağlar. Adaptif filtre parametreleri veri bağımlıdır. Bunun nedeni ise parametrelerin özyineli algoritma sayesinde her bir adımda güncellenmesidir. Adaptif filtreler doğrusal ve doğrusal olmayan filtre olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer filtre çıkışı, filtre girişine uygulanan giriş verisinin doğrusal bileşimi olarak hesaplanabiliyorsa filtre doğrusal hesaplanamıyorsa filtre doğrusal değildir [9].

3.1 Adaptif LMS Filtresi

LMS algoritması 1960 yılında Widrow ve Hoff tarafından geliştirilmiştir. Adaptif filtreleme uygulamalarında oldukça sık kullanılan bir algoritmadır. En önemli özelliği basitliğidir ve doğru koşullar altında tatmin edici sonuçlar için yeterlidir. İşlevlerinde uygun korelasyon fonksiyonlarının ölçümlerine ve matris tersinin varlığına ihtiyaç duymadan çalışan ileri yönlü bir algoritmadır [9].

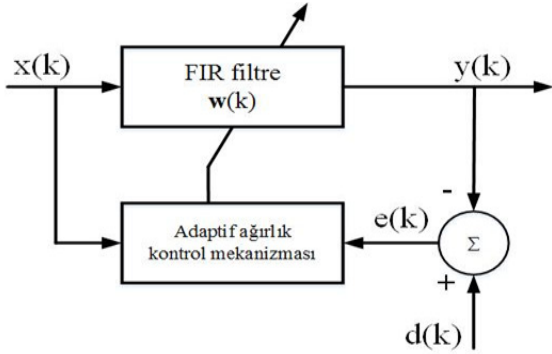
LMS algoritması iki temel işlemi içeren doğrusal bir adaptif filtreleme algoritmasıdır [9].

Bunlar:

1. Filtreleme işlemi
 - Giriş işareti uygulanarak FIR filtrenin çıkışının hesaplanması.
 - Elde edilen çıkışın beklenen cevapla karşılaştırılıp tahmin hatasının oluşturulması.
2. Adaptif işlem
 - Filtre ağırlık katsayılarını adaptif olarak ayarlanması.

Bu iki işlemin birlikte çalışması Şekil 3'te görüldüğü gibi LMS algoritması etrafında bir geri beslemeli döngü meydana getirir. Öncelikle Şekil 3'te görülen LMS algoritması etrafında bir FIR filtre oluşturulur. FIR filtre filtreleme işlemini yerine

getirmekten sorumludur. İkinci olarak FIR filtrenin katsayıları üzerindeki adaptif kontrol işlemini yerine getirmek için adaptif kontrol mekanizması oluşturulur [9].



Şekil. 3. LMS filtre blok diyagramı[9].

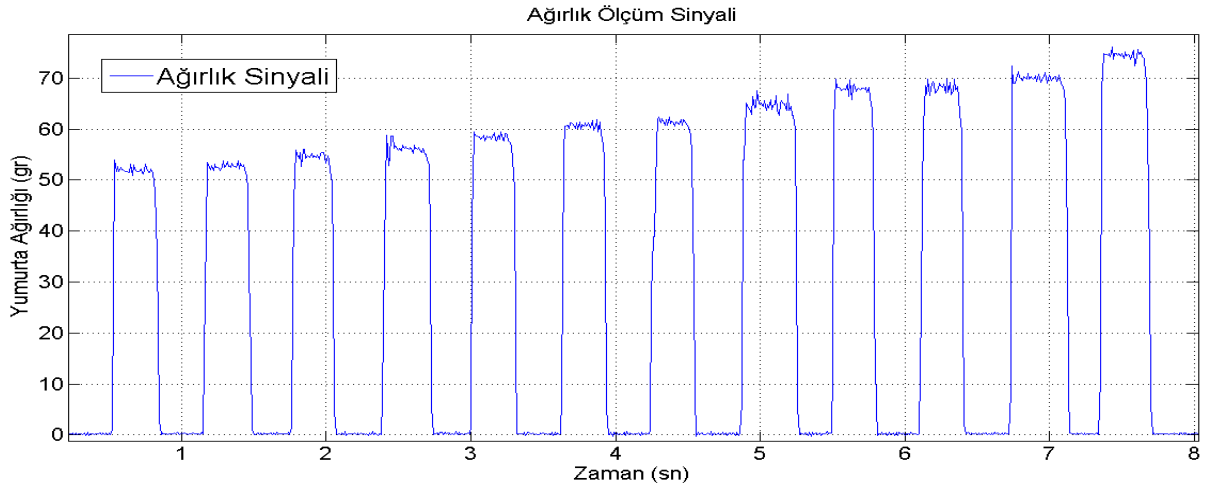
Denklem 1 ile Denklem 3 arasında tanımlanan eşitlikler adaptif LMS algoritması eşitlikleridir. Algoritmanın her bir tekrarında veya zaman güncellemesinde $x(k)$, $d(k)$ ve $w(k)$ 'nin en son değerlerinin bilinmesi gerekmektedir [9].

i. Filtre Çıkışı

$$y(k) = w^T(k)x(k) \quad 1$$

Tablo 1. 12 adet yumurtanın statik ağırlığı

Yumurta Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ağırlık(gr)	51,9	52,7	54,6	56,1	58,4	60,7	61,2	64,7	67,8	68,1	70	74,5



Şekil. 4. 12 adet yumurtanın ağırlık ölçüm sinyal grafiği

Ağırlık ölçüm sinyali incelendiğinden sinyalde sapma meydana geldiği görülmektedir. Sinyalde meydana gelen bu bozulma ölçüm sırasında sisteminde ürünün hareketli olmasından dolayı meydana gelen gürültülerin ölçüm sinyali üzerine eklenmesidir. Dinamik tartım sisteminden alınan ağırlık sinyali filtre derecesi $M=10$ ve adım büyüklüğü $\mu=0,00000031$ olan

i. Hata

$$e(k) = d(k) - y(k) \quad 2$$

ii. Filtre Ağırlık Katsayısı Güncelleme Denklemi

$$w(k+1) = w(k) + \mu x(k)e(k) \quad 3$$

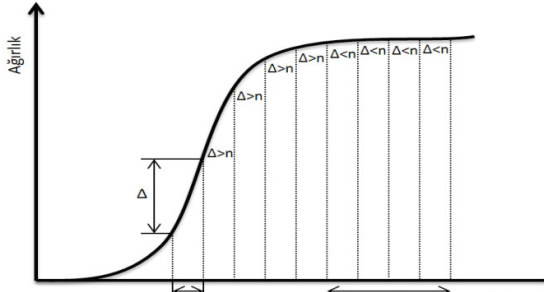
Denklem 1 ve Denklem 3'ün hesaplanması, $w(k)$ ağırlık katsayısı vektörünün geçerli tahminine dayanan, tahmin hatasını tanımlar. Eşitlik 3'ün sağ tarafındaki $\mu x(k)e(k)$ ifadesi $w(k)$ ağırlık katsayısı vektörünün geçerli tahminine uygulanan düzeltmeyi ifade eder. Tekrarlı işlemler $w(0)$ başlangıç değerinden başlar [9].

3.2 Ağırlık Sinyalinin Adaptif LMS Filtresi ile Filtrelenmesi

Bu çalışmada kullanılan ağırlık sinyali 12 adet yumurtanın dinamik tartım sistemi ile tartılması sonucu elde edilmiştir. Ölçüm sinyallerinin frekansı 100Hz'tir. Tablo 1'de 12 tane yumurtanın tartım sırasına göre statik tartım sonucu elde edilen statik ağırlık değerleri görülmektedir. Şekil 4'te 12 adet yumurtanın dinamik tartım sisteminde tartılması sonucu oluşan ağırlık ölçüm sinyali görülmektedir.

adaptif LMS filtresi kullanılarak filtrelenmektedir. Ölçüm sinyalinin adaptif LMS filtresi ile filtrelenmesi sonucu oluşan sinyale Şekil 5'te görülen basit bir kararlılık işlemi uygulanmıştır. Bu işlem sayesinde tartılan yumurtaların tartım süresinde ağırlığının stabil olduğu an belirlenmektedir. Şekil 5'te

görülen stabilizasyon işleminin parametreleri ve işlem aşamaları aşağıda verilmiştir.



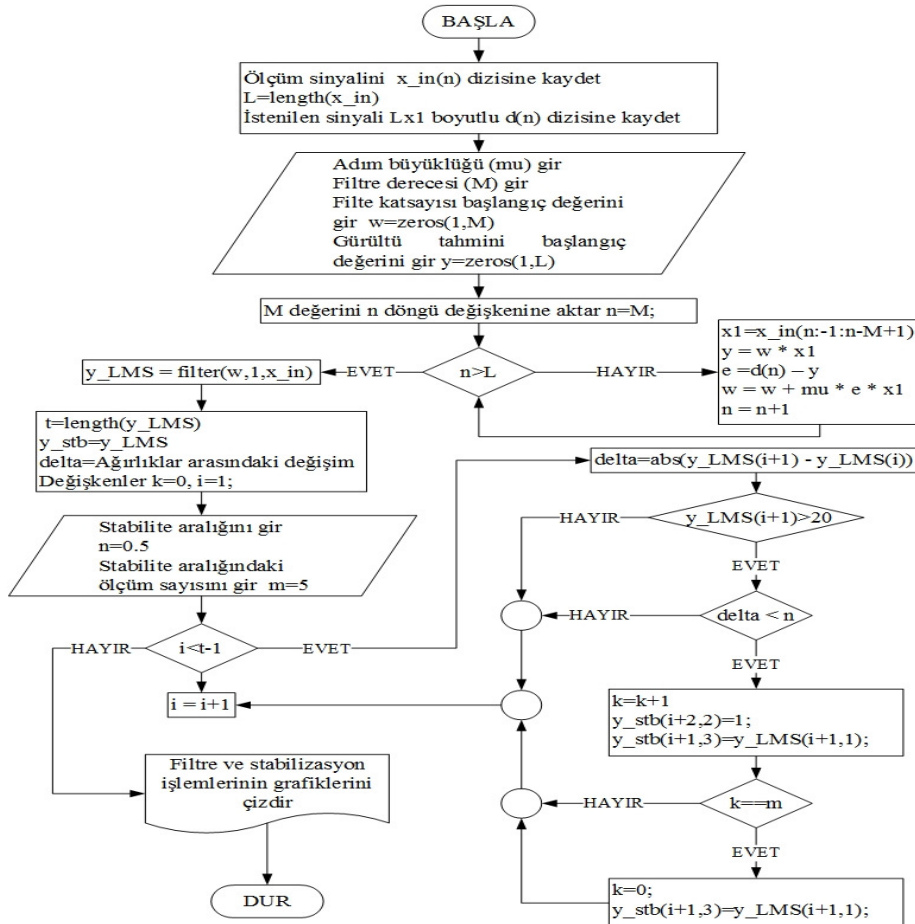
Şekil 5. Kararlı ağırlık belirleme şeması [10].

- Δ= Ağırlıklar arasındaki değişim,
- t = Ölçüm süresi,
- n = Stabilite aralığı (0,5 gr)
- m = Stabilite aralığındaki ağırlık ölçüm sayısı (5)

Şekil 5.'te görüldüğü gibi kararlılık işlemi ardışık iki veri arasındaki değişim miktarı olan Δ'nın, kararlılık aralığı n'den küçük olması ve bu şekilde m tane verinin gelerek m. verinin kararlı ağırlık değeri olarak belirlenmesi şeklinde çalışmaktadır.

Stabilizasyon işlemi ile stabil ağırlığı belirlemek için ardışık iki ölçüm verisi arasındaki farkın 0,5 gr'dan küçük olması ve bu şekilde 5 adet verinin art arda gelmesi gerekmektedir. Bu şekilde gelen verilerden 5. veri stabil ağırlık olarak belirlenmektedir.

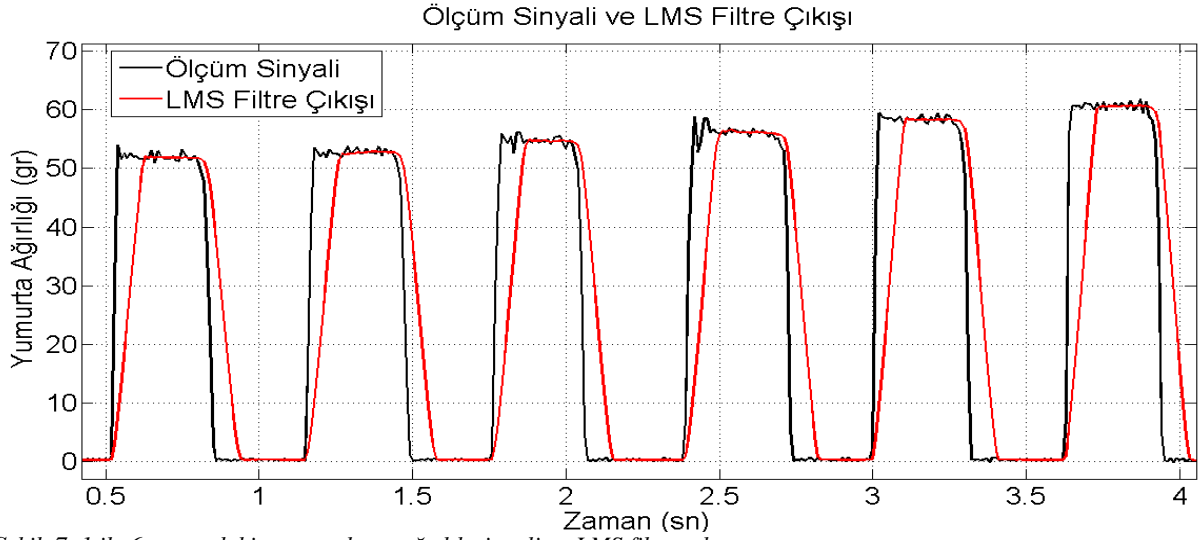
Şekil 6'da adaptif LMS filtresi akış diyagramı görülmektedir. Akış diyagramına göre filtreleme işlemi başlamadan önce ölçüm sinyali, sabitler ve başlangıç değerleri tek tek tanımlanmaktadır. Adaptif LMS filtresi ilk olarak giriş sinyalinden tanımlanan filtre derecesi (M) uzunluğunda bir dizi olarak işleme başlamaktadır. Alınan bu dizi ile başlangıçta tanımlanmış olan filtre ağırlık katsayısının başlangıç değeri çarpılır ve gürültü tahmini (y) elde edilmektedir. İstenilen sinyal (d)' den gürültü tahmini (y) çıkartılarak tahmin hatası (e) hesaplanmaktadır. Elde edilen bu tahmin hatası (e) ve başlangıçta kullanılan adım büyüklüğü ve M uzunluğundaki filtre giriş dizisi kullanılarak adaptif LMS filtresi ağırlık katsayısı elde edilmektedir. Bu işlemler giriş sinyalinin bütün değerleri için tek tek tekrar edilerek adaptif LMS filtresi ağırlık katsayıları elde edilir. Bu ağırlık katsayıları kullanılarak ölçüm sinyali filtrelenmektedir. Filtre sonucuna stabilizasyon işlemi uygulanmaktadır.



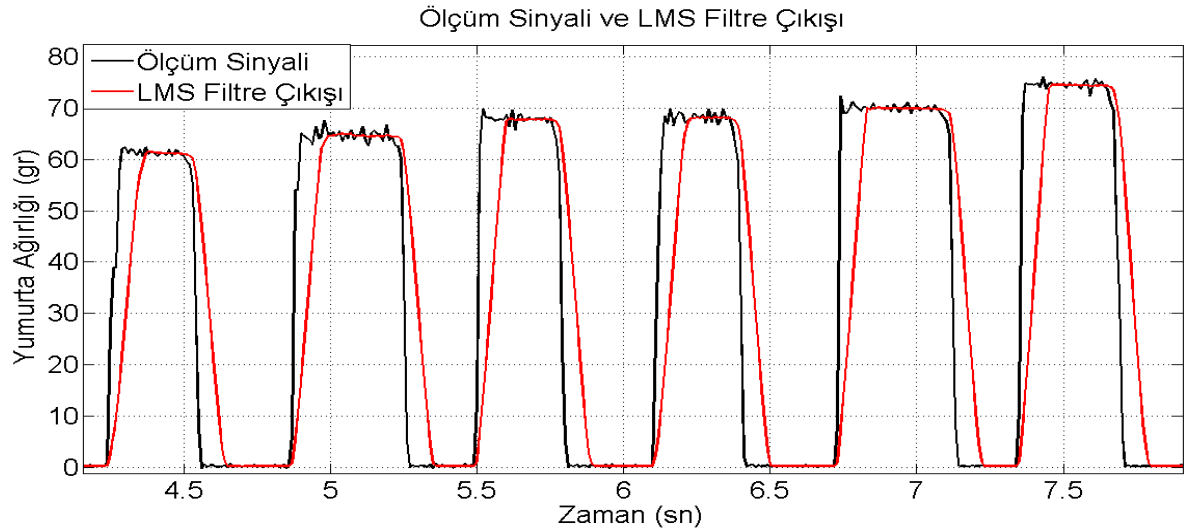
Şekil 6. Adaptif LMS filtresi akış diyagramı

Adaptif LMS filtresinin ağırlık ölçüm sinyalini filtrelemesi sonucu oluşan filtre çıkış sinyali ve ağırlık

ölçüm sinyali Şekil. 7 ve Şekil 8'de arasında görülmektedir.



Şekil. 7. 1 ile 6 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre çıkışı



Şekil. 8. 7 ile 12 arasındaki yumurtaların ağırlık sinyali ve LMS filtre çıkışı

Dinamik tartım sisteminden alınan ölçüm sinyalinin filtrenmesi ile elde edilen sinyale kararlılık işlemi uygulanması sonucu bulunan kararlı ağırlık

değerleri ve statik halde elde edilen ağırlık ölçüm sonuçları Tablo. 2'de verilmiştir.

Tablo. 2 12 adet yumurtanın statik ağırlık ve kararlılık işlemi sonucu elde edilen kararlı ağırlık değerleri

Yumurta Numarası	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Statik Ağırlık (gr)	51,9	52,7	54,6	56,1	58,4	60,7	61,2	64,7	67,8	68,1	70	74,5
Filtre Sonucu	51,8	52,7	54,8	56,1	58,3	60,6	61,2	65,0	67,7	68,1	70,0	74,5

4 SONUÇLAR

Bu çalışmada hareket halindeki yumurtaların ağırlıklarının tartan hareketli tartım sisteminden alınan

gürültülü ağırlık sinyalini filtrelemek için adaptif filtreleme yöntemlerinden olan adaptif LMS algoritması kullanılmıştır. Kullanılan bu algoritma ile alçak geçiren FIR filtrenin ağırlık katsayıları belirlenmiştir. Elde

edilen sonuçlar değerlendirildiğinde uygulamada kullanılan Adaptif LMS algoritması ile ağırlıkları belirlenen filtrenin ölçüm sinyalinin başarı ile filtrelediği görülmüştür.

5 KAYNAKLAR

[1] M., Niedźwiecki, A., Wasilewski, (1996). Application of adaptive filtering to dynamic weighing of vehicles. *Control Engineering Practice*, vol 4, p. 635-644.

[2] Z., Rui, L., Wen-hong, G., Yin-jing, (2010). A Vehicle Weigh-in-Motion System Based on Hopfield Neural Network Adaptive Filter. *3rd International Communication and Mobile Computing Conference*, Shenzhen, 12-14. April. 2010, p. 123-127.

[3] J., Xiao, P., Lv, (2009). Application of Wavelet Transform in Weigh-in-Motion. *International Workshop on Intelligent Systems and Applications*, Wuhan, 23-24. May. 2009, p. 1-4.

[4] A., Meixedo, A., Gonçalves, R., Çalçada, J., Gabriel, H., Fonseca, R., Martins, (2015). Weighing in Motion and Wheel Defect Detection of Rolling Stock. *3rd Expreiment International Conference*, Portugal, 2-4. June. 2015, p. 86-90.

[5] M., Halimic, A., Halimic, S., Zugail, Z., Huneitti, (2008). Intelligent Signal Processing for Electro-Mechanical Systems. *Proceeding of the 5th International Symposium on Mechatronics and its Applications*, Amman, 27-29. May. 2008, p. 1-5.

[6] C., Xiaoyan, L., Zhenliang, (2008). An Intelligent Dynamic Weighing Controller. *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Qingdao, China, 1-3. September. 2008, p. 1609-1612.

[7] M., Halimic, W., Balachandran, (1995). Kalman filter for dynamic weighing system. *Industrial Electronics Proceedings of the IEEE International Symposium*, Athens, 10-14. July. 1995, p. 2123-2129.

[8] İ., Yabanova, (2016). Dynamic Mass Measurement and Appropriate Filter Analysis. *Istanbul University Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol 16, p. 3033-3036.

[9] S., Haykin, (1996). Adaptive Filter Theory p. 4-9 ISBN 9-780-133-227-60-4.

[10] İ., Yabanova, ve M., Yumurtacı, (2016). Dinamik ağırlık ölçümü ve dalgacık dönüşümü uygulaması. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, vol 1, p. 7-12.

Yazarların adresleri

¹İsmail, YABANOVA, Asst. Prof., Afyon Kocatepe University, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Gazlıgöl Yolu Teknoloji Fakültesi, AFYONKARAHİSAR, Tel: 0 272 228 14 46/47/48, e-mail: iyabanova@gmail.com

²Mesut, YANIK, Cevizliyatak Mah. Güneşler Küme Evleri No:50/1, Çaybaşı/ORDU, Tel: 0 544 953 56 54, e-mail: mesutyunik3@gmail.com

Sorumlu Kişi

*İsmail, YABANOVA, Asst. Prof., Afyon Kocatepe University, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Gazlıgöl Yolu Teknoloji Fakültesi, AFYONKARAHİSAR, Tel: 0 272 228 14 46/47/48, e-mail: iyabanova@gmail.com

Investigation of Electrically Conductivity Properties of Asphalt Concrete with Carbon Black According to the Increase of Mass Bitumen

Hüseyin Akbulut¹ Cahit Güre^{2*}

Abstract: Continuous increase of human population in the world and industrialization leads higher transportation demand and especially more faster, more comfortable and uninterrupted travel in every atmosphere conditions becomes even more important in the daily life. Snowy and icy conditions of road surfaces in winter season's causes interruptions on travel, heavy traffic accident hence injuries and loss of life and serious economic cost. Researches made shows that more than 10 and 15 % of accidents happens because of bad weather conditions. Highway institutions have been spending lots of time and money to tackle for the frosting roads. Highway institution is used different procedures for tackling for icing such as mechanic and chemical methods. However, because of the badly effect of chemical methods on the road structures and mechanic methods that needs numerous machines and workforce leads the researchers to look for different tackling methods. Conductive asphalt mixture has been one of the different active struggle methods. A conductive asphalt pavement has been produced by adding some conductive materials to the traditional asphalt mixture. This work focuses on effect of the increase of mass of bitumen amount within the carbon black added conductive asphalt mixtures.

Keywords: Asphalt Concrete, Carbon Black , Bitumen Film Thickness, Electrical Conductivity, Anti-icing

1 INTRODUCTION

Text Increasing human population cause to increasing in travel demand, as a result uninterrupted transportation was gained importance day to day. In the winter months, especially in cold regions, the traffic can be interrupted due to snow and icing on the roads and sometimes the road can be completely closed to traffic. As a result, researchers are investigated for more effective methods to solve icing problems on road surfaces. Conductive asphalt technology can be feasible solution for these type problems [1, 2]. Conductive asphalt concrete (CAC) can be defined as the mixture of bitumen, aggregates and electrically conductive components to obtain high electrical conductivity. The first attempt of making an electrically conductive road for deicing dates back to the 1960s. A new snow melting/deicing technique by the application of CAC was developed by Minsk in 1968 [3,4].The asphalt concrete was made electrically conductive by incorporating conductive materials within the asphalt concrete mixture. An electric current through an electrically CAC could generate sufficient heat that was transferred to the pavement surface for snow melting/deicing. ice melting on the road surfaces especially in critical road sections and opening to the traffic in colder months are one of the most important issues. Using conductive asphalt concrete to melt ice on the road's surface is extremely important at some sections such as bridge, airport's runway, hospital junction roads, roads of garage, roads at north hilly side vertical and horizontal curves of roads. So ice melting with CAC is interesting and important research topics of pavement engineering at recent years. When the snow height reaches to 5 cm, it should be remove the snow from the road surface. Otherwise, snow can become pressed by traffic load and it turn to be ice. Also, icing could be seen as a result of moisture and water on of the road surface turn to ice. Traffic safety is dangerous in

highway sections with icing. There are two different ice control strategies: anti-icing and de-icing. They have differences in their main purposes. Conductive asphalt technology is generally intended to anti-icing[2].

According to the Wu et al. (2002), bitumen plays a role as a cementation material and coats the aggregate and conductive material in the form of asphalt film [5]. The strength and conductivity of asphalt mixture are strongly dependent on the asphalt film thickness. Thinner film is effective for to achieve higher conductivity while thicker film is beneficial to produce higher strength. Therefore, the bitumen film thickness is an important factor for both strength and electrically conductivity. In this study, it was focused to how the conductivity changes with the change of mass of bitumen.

2 MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

In this study limestone based aggregate specimen was used to producing of asphalt concrete specimens. The aggregate specimen taken from KOLSAN Co. Chemical properties of aggregate was given in Table. The 60/70 penetration grade bitumen used as binder (ASTM D 946). The engineering properties of the bitumen are given in Table 1. Carbon black was used as the conductive component and also mineral filler in the mixture %6 by weight. Carbon black is supplied by Özerband Company in Afyonkarahisar.

Table 1. Bitumen Properties

Properties	Value	Standard
Source	Aliağa/Turkey	-
Penetration Grade	50/70	-
Penetration at 25 °C	64	ASTM D5-06e1,
Specific gravity	1.030	ASTM D70-09e1
Softening point (°C)	47	ASTM D36/D36M-09
Loss on heating (%)	2.2	ASTM D6-95
Flash point (°C)	280	ASTM D92-05a
Ductility (5 cm/min at 25°C)	>100 cm	ASTM D113-07
Viscosity at 135 °C	0.400 Pa s	ASTM D4402-06
Viscosity at 165 °C	0.101 Pa s	

2.2 Method

In this study 18 conductive asphalt concrete specimens were prepared. When specimen is preparing six different bitumen% by weighth were used as 5.5, 6.0, 6.5, 7.0, 8.0, 8.5 respectively. Electrical resistivity measurements were performed on the specimens via two electrode method.

Electrical resistivity measurements via two Electrode Method

A power supply (GwinSTEK SPM-6003) and a digital multimeter (Fluke) were employed to measure resistivity. The electrodes made of copper sheets were stuck to the cross profiles of a specimen by mechanic clamb (see Figure 1). The stabilized power supply and digital multimeter were connected to the copper electrodes by the wires with crocodile mouth. Subsequently, the resistances under constant voltage (20 Volt) were measured. Resistivity of specimens (ρ) were calculated according to the equation 1.

$$\rho = R \times \frac{S}{L} \tag{1}$$

where ρ = electrical resistivity (Ω m); L is the internal electrode distance (m); R is the measured resistance (Ω); and S is the electrode conductive area (m²). In order to electrode distance, specimen heigh were measured three different point and their average heights were used as L value [6].



Figure 1. Resistivity measurement via two electrode method

3. FINDINGS

In order Resistivity measurements were performed on the specimens via two electrode methods. Currents under constant voltage were measured on eighteen specimens with six different bitumen ratios and the resistivity values of the specimens were calculated. Test results were shown that the increase in bitumen film thickness leads to decrease in conductivity specimens. Especially in specimens where the bitumen ratio was 7.5 %, the resistivity increased significantly. Resistivity change versus % bitumen by weight was shown in Figure 2.

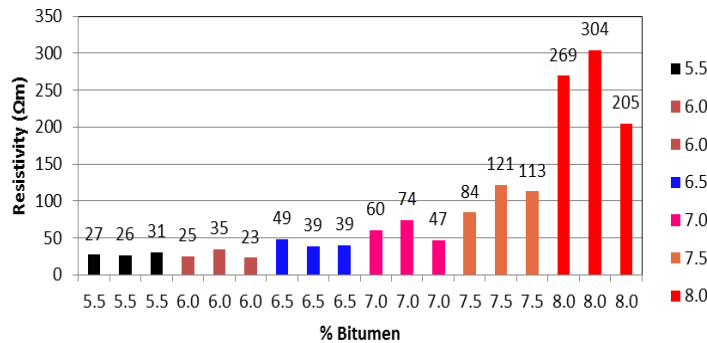


Figure.... Resistivity Change Versus % Bitumen by Weight

4 CONCLUSIONS

As a result of the tests following conclusions can be drawn: The conductivity of specimens decreases with addition of bitumen by weights, especially in specimens containing 7.5% bitumen. This could be a problem with high bitumen asphalt, such as stone mastic asphalt. In such asphalt mixtures with high bitumen percent, the use of conductive bitumen could be solved the problem.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research was sponsored by the **Afyon Kocatepe University, Scientific Research Projects Coordination Department (AKÜ BAP) (Project Numbers:16.KARİYER.168 and 15.MUH.14)**. The authors wish to express their gratitude to the Afyon Kocatepe University, Scientific Research Projects Coordination Department and **TÜBİTAK 2209-A** Student Projects for their supports. Also authors wish to special thanks to **Afyonkarahisar Municipality, team of Asphalt Department Laboratory**, Kubilay Akın (Director), Faik Karakoç (Asphalt Plant Chef / Chem. Engineer), Laboratory assistants Ahmet İba, Rıcep Balı Engiz, Muratcan Akın, **KOLSAN Mining Company, Afyonkarahisar Özerband Conveyor Belt Company** and BSc. senior students Burcu DEMİRCİ, Necmettin TÜRKAY, Seher ÖZDAL, Nurbanu ÖZKAYNAK for their helps and assistance.

REFERENCES

- [1] Gürer, C., Düşmez, C., Gevrek, L., (2015). Conductive Asphalt Concrete Applications. Engineering and Technology Symposium Proceeding Book. 257-262 Ankara, Turkey (in Turkish).
- [2] Gürer C., Düşmez C. (2015). Anti-icing in Bridges by way of Conductive Asphalt Concrete. 3th Bridges and Viaducts Symposium. 53 p. Bursa, Turkey.
- [3] Garcia A., Schlangen E., Ven M., Liu Q. (2009).Electrical conductivity of asphalt mortar containing conductive fibers and fillers. Construction and Building Materials 23 (2009) 3175–3181.
- [4] Pan, P.,Wu, S., Xiao, F., Pang, L., Xiao, Y. (2014). “Conductive asphalt concrete: A review on structure design, performance, and practical applications”, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1-15.
- [5] Wu, SP., Mo, LT., Shui, ZH., et al. (2005). Investigation of the conductivity of asphalt concrete containing conductive fillers. Carbon 43(7): 1358–1363.
- [6] Yang Q., Li X., Wang P. (2013). Resistivity measurement of conductive asphalt concrete based on two-electrode method. J. Cent. South Univ.20: 2599-2604.

Authors addresses

¹Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, ANS Campus, Erenler Mh., Afyonkarahisar/Turkey

Contact person

^{1*}Cahit Gürer (Ph.D.) Afyon Kocatepe University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, Afyonkarahisar/Turkey. **M.Phone:** +90 532 7332225, **E mail:** cgurer@aku.edu.tr

Decoupled Nonlinear Control Design and Simulation of Torpedo Shaped Autonomous Underwater Vehicles (AUVs)

Alper Yalman^{1,*} - Aydın Yeşildirek²

Abstract: In this study, different nonlinear controllers are applied to the decoupled equations of AUV in order to track the reference values and the controlled vehicle motion is simulated using MATLAB/Simulink environment. First, the kinematic equations are obtained using transformations between body and inertial reference frames and dynamic equations of motion are derived by considering the hydrostatics and hydrodynamics effects. After modelling, the equations of motion are decoupled and different controllers are applied in order to control forward speed, roll position/velocity, depth and yaw angle by using each control variable. The feedback linearization is used to reach the desired forward speed. In many applications, the roll states are generally neglected or used as constant but in this study the roll states are controlled by backstepping method to make the roll position and velocity zero. Sliding mode control and cascaded PID controllers are applied in order to control the depth and heading of the AUV. Finally, the simulation results are demonstrated and future works are presented.

Keywords: Autonomous Underwater Vehicle, Decoupling, Feedback Linearization, Backstepping, Sliding Mode.

1 INTRODUCTION

In recent years, Autonomous Underwater Vehicles (AUVs) have gained increasing interest as they have many different application areas such as oil and gas industry, scientific research, oceanography and military. The automatic control of AUVs is very challenging task since the dynamic model of the vehicle is highly nonlinear and coupled especially with the vehicle hydrodynamic coefficients that are difficult to identify [1]. Many AUV systems are used in literature and various control techniques are applied such as PID control [2], Lyapunov based feedback control [3], sliding mode control [4] full state feedback control [5] and adaptive control [6].

In this paper, speed, roll, depth and heading autopilots have been presented based on feedback linearization, backstepping, cascaded PID and sliding mode techniques in order to control the torpedo shaped AUV. The parameters of REMUS AUV given by Prestero [7] are used in vehicle simulation and control system implementation. The decoupled control design procedure can be found in [8]. The 6 DOF linear equations of motion can be divided into three non-interacting (or lightly interacting) subsystems, which are speed, heading and depth subsystems. Unlike most of the studies, the roll dynamics of the vehicle is not neglected and included as additional subsystem.

The paper is organized as follows. Section 2 presents the kinematic and dynamic model of the AUV. Control system design for each decoupled subsystem is described in Section 3. The simulation results are demonstrated in Section 4. Finally, the conclusion and future works are given in Section 6.

2 MATHEMATICAL MODELLING

This section presents the motion of autonomous underwater vehicles in 6 degrees of freedom (DOF). The resulting model is decoupled in control system design to control speed, roll, depth and heading independently.

SNAME notation [9] is used to define vehicle states and inputs as given in Table 1.

Table 1. SNAME Notation For Marine Vehicles

DOF	Forces&Moments	Velocities	Positions
Surge	X	u	x
Sway	Y	v	y
Heave	Z	w	z
Roll	K	p	ϕ
Pitch	M	q	θ
Yaw	N	r	ψ

2.1 Kinematics of AUV

When studying the 6DOF motion of AUV, it is convenient to define two coordinate frames which are earth-fixed and body-fixed coordinate frames in Fig. 1.

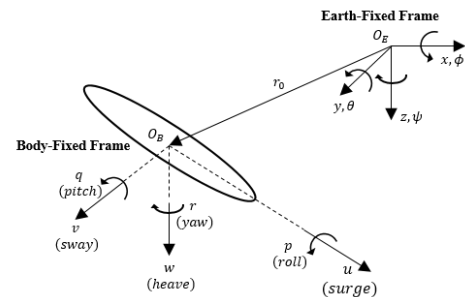


Fig. 1. AUV Coordinate Frames

The 6 DOF kinematic equations are expressed in vector form in [8].

$$\dot{\eta} = \begin{bmatrix} \dot{\eta}_1 \\ \dot{\eta}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1(\eta_2) & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & J_2(\eta_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{v}_1 \\ \mathbf{v}_2 \end{bmatrix} = J(\eta)\mathbf{v} \quad (1)$$

where

$\eta = [x \ y \ z \ \phi \ \theta \ \psi]^T$ defines positions and orientations with respect to earth-fixed frame,

$\mathbf{v} = [u \ v \ w \ p \ q \ r]^T$ defines linear and angular velocities with respect to body-fixed frame, $J_1(\eta_2)$ and $J_2(\eta_2)$ are the Euler angle rotation and attitude

transformation matrices. Transformation matrices $J_1(\boldsymbol{\eta}_2)$ and $J_2(\boldsymbol{\eta}_2)$ are

$$J_1(\boldsymbol{\eta}_2) = \begin{bmatrix} c\psi c\theta & -s\psi c\theta & c\psi s\theta s\phi & s\psi s\phi + c\psi c\phi s\theta \\ s\psi c\theta & c\psi c\theta & s\psi s\theta s\phi & -c\psi s\phi + s\theta s\psi c\phi \\ -s\theta & c\theta s\phi & c\theta c\phi & \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$J_2(\boldsymbol{\eta}_2) = \begin{bmatrix} 1 & s\phi t\theta & c\phi t\theta \\ 0 & c\phi & -s\phi \\ 0 & s\phi/c\theta & c\phi/c\theta \end{bmatrix}$$

The rotation matrix $J_1(\boldsymbol{\eta}_2)$ is an orthogonal matrix which means $J_1^{-1}(\boldsymbol{\eta}_2) = J_1^T(\boldsymbol{\eta}_2)$, $J_2(\boldsymbol{\eta}_2)$ is undefined for $\theta = \pm 90^\circ$ and $J_2^{-1}(\boldsymbol{\eta}_2) \neq J_2^T(\boldsymbol{\eta}_2)$.

2.2 Dynamics of AUV

In Fossen [8], the rigid body dynamics is obtained by Newton-Euler formulation.

$$\mathbf{M}_{RB}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})\mathbf{v} = \boldsymbol{\tau} + \boldsymbol{\tau}_H \quad (3)$$

where \mathbf{M}_{RB} is rigid body inertia matrix, $\mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})$ is matrix of coriolis and centripetal terms, $\boldsymbol{\tau}_H$ is a vector that consist of hydrostatic and hydrodynamic forces and moments and $\boldsymbol{\tau}$ is a vector that includes forces and moments due to the controlled actuators.

For an AUV, the hydrodynamic forces are due to the added mass, damping and lift forces and moments. The hydrostatic forces and moments are acting on the vehicle due to the weight and buoyancy.

The generalized equations of motion for an REMUS AUV is expressed in [8].

$$\mathbf{M}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{D}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{L}(\mathbf{v})\mathbf{v} + \mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}) = \boldsymbol{\tau} \quad (4)$$

where

$\mathbf{M} = \mathbf{M}_{RB} + \mathbf{M}_A$; inertia matrix including added mass,
 $\mathbf{C}(\mathbf{v}) = \mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v}) + \mathbf{C}_A(\mathbf{v})$ is coriolis and centripetal matrix including added mass,
 $\mathbf{D}(\mathbf{v})$ - hydrodynamic damping matrix,
 $\mathbf{L}(\mathbf{v})$ - body and fin lift matrix,
 $\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta})$ - vector of restoring forces and moment
 $\boldsymbol{\tau}$ - vector of controlled forces and moments.

2.2.1 Rigid Body Matrices

The 3x3 rigid body inertia matrix \mathbf{M}_{RB} is positive and symmetric matrix and defined as follows:

$$\mathbf{M}_{RB} = \begin{bmatrix} m\mathbf{I}_{3 \times 3} & -m\mathbf{S}(\mathbf{r}_G) \\ m\mathbf{S}(\mathbf{r}_G) & \mathbf{I}_0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 & mz_G & -my_G \\ 0 & m & 0 & -mz_G & 0 & mx_G \\ 0 & 0 & m & my_G & -mx_G & 0 \\ 0 & -mz_G & my_G & I_x & -I_{xy} & -I_{xz} \\ mz_G & 0 & -mx_G & -I_{yx} & I_y & -I_{yz} \\ -my_G & mx_G & 0 & -I_{zx} & -I_{zy} & I_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

where \mathbf{I}_0 is 3x3 inertia tensor, $\mathbf{r}_G = [x_G \ y_G \ z_G]^T$ is the position of center of gravity. The inertia tensor is selected as diagonal and the x and y coordinates of CG are selected as zero for simplicity in calculations.

There are more than one representations to define $\mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})$. The representation of $\mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v})$ in [8] is used here.

$$\mathbf{C}_{RB}(\mathbf{v}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -m(y_G q + z_G r) & m(y_G p + w) & m(z_G p - v) \\ m(x_G q - w) & -m(z_G r + x_G p) & m(z_G q + u) \\ m(x_G r + v) & m(y_G r - u) & -m(x_G p + y_G q) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} m(y_G q + z_G r) & -m(x_G q - w) & -m(x_G r + v) \\ -m(y_G p + w) & m(z_G r + x_G p) & -m(y_G r - u) \\ -m(z_G p - v) & -m(z_G q + u) & m(x_G p + y_G q) \\ 0 & -I_{yz} q - I_{xz} p + I_z r & I_{yz} r + I_{xy} p - I_y q \\ I_{yz} q + I_{xz} p - I_z r & 0 & -I_{xz} r - I_{xy} q + I_x p \\ -I_{yz} r - I_{xy} p + I_y q & I_{xz} r + I_{xy} q - I_x p & 0 \end{bmatrix}$$

The inertia tensor will be chosen as diagonal and the the x and y coordinates of CG will be zero in control system design for simplicity in calculations.

2.2.2 Added Mass

Added mass is definition of the mass of the moving water when the vehicle accelerates. The added mass inertia matrix is given below by taking into consideration the x - y and x - z symmetry of the vehicle.

$$\mathbf{M}_A = - \begin{bmatrix} X_{\dot{u}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_{\dot{v}} & 0 & 0 & 0 & Y_{\dot{r}} \\ 0 & 0 & Z_{\dot{w}} & 0 & Z_{\dot{q}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{\dot{p}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{\dot{w}} & 0 & M_{\dot{q}} & 0 \\ 0 & N_{\dot{v}} & 0 & 0 & 0 & N_{\dot{r}} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$X_{\dot{u}}$ is called hydrodynamic derivative and expressed using following formula:

$$X_{\dot{u}} = \frac{\partial X}{\partial \dot{u}} \quad (8)$$

The added mass terms included in coriolis and centripetal matrix are given as follows:

$$\mathbf{C}_A(\mathbf{v}) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -a_3 & a_2 \\ 0 & 0 & 0 & a_3 & 0 & -a_1 \\ 0 & 0 & 0 & -a_2 & a_1 & 0 \\ 0 & -a_3 & a_2 & 0 & -b_3 & b_2 \\ a_3 & 0 & -a_1 & b_3 & 0 & -b_1 \\ -a_2 & a_1 & 0 & -b_2 & b_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

where

$$\begin{aligned} a_1 &= X_{\dot{u}} u + X_{\dot{v}} v + X_{\dot{w}} w + X_{\dot{p}} p + X_{\dot{q}} q + X_{\dot{r}} r \\ a_2 &= X_{\dot{v}} u + Y_{\dot{v}} v + Y_{\dot{w}} w + Y_{\dot{p}} p + Y_{\dot{q}} q + Y_{\dot{r}} r \\ a_3 &= X_{\dot{w}} u + Y_{\dot{w}} v + Z_{\dot{w}} w + Z_{\dot{p}} p + Z_{\dot{q}} q + Z_{\dot{r}} r \\ b_1 &= X_{\dot{p}} u + Y_{\dot{p}} v + Z_{\dot{p}} w + K_{\dot{p}} p + K_{\dot{q}} q + K_{\dot{r}} r \\ b_2 &= X_{\dot{q}} u + Y_{\dot{q}} v + Z_{\dot{q}} w + K_{\dot{q}} p + M_{\dot{q}} q + M_{\dot{r}} r \\ b_3 &= X_{\dot{r}} u + Y_{\dot{r}} v + Z_{\dot{r}} w + K_{\dot{r}} p + M_{\dot{r}} q + N_{\dot{r}} r \end{aligned} \quad (10)$$

2.2.3 Hydrodynamic Damping

The hydrodynamic damping matrix $\mathbf{D}(\mathbf{v})$ is a real, non-symmetrical and strictly positive matrix. In damping matrix $\mathbf{D}(\mathbf{v})$, the terms higher than second order are generally neglected. Thus, the damping matrix can be written as the sum of linear and quadratic damping for x - y and x - z symmetric AUV is written as:

$$\mathbf{D}(\mathbf{v}) = - \begin{bmatrix} X_u & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_v & 0 & 0 & 0 & Y_r \\ 0 & 0 & Z_w & 0 & Z_q & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_p & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_w & 0 & M_q & 0 \\ 0 & N_v & 0 & 0 & 0 & N_r \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$- \begin{bmatrix} X_{u|u}|u| & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_{v|v}|v| & 0 & 0 & 0 & Y_{r|r}|r| \\ 0 & 0 & Z_{w|w}|w| & 0 & Z_{q|q}|q| & 0 \\ 0 & 0 & 0 & K_{p|p}|p| & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{w|w}|w| & 0 & M_{q|q}|q| & 0 \\ 0 & N_{v|v}|v| & 0 & 0 & 0 & N_{r|r}|r| \end{bmatrix}$$

2.2.4 Body and Fin Lift

Body and fin lift result from the vehicle moving through the water at an angle of attack. The matrix that defines the coefficients of body and fin lift forces and moments is:

$$\mathbf{L}(\mathbf{v}) = - \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Y_{uv}u & 0 & 0 & 0 & Y_{ur}u \\ 0 & 0 & Z_{uw}u & 0 & Z_{uq}u & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{uw}u & 0 & M_{uq}u & 0 \\ 0 & N_{uv}u & 0 & 0 & 0 & N_{ur}u \end{bmatrix} \quad (12)$$

2.2.5 Restoring Forces and Moments

The hydrostatics terms $\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta})$ is called restoring forces and moments due to the gravity and buoyancy forces acting on the vehicle. The restoring forces and moments are defined as:

$$\mathbf{g}(\boldsymbol{\eta}_2) = \begin{bmatrix} (W - B)s\theta \\ -(W - B)c\theta s\phi \\ -(W - B)c\theta c\phi \\ -(y_G W - y_B B)c\theta c\phi + (z_G W - z_B B)c\theta s\phi \\ (z_G W - z_B B)s\theta + (x_G W - x_B B)c\theta c\phi \\ -(x_G W - x_B B)c\theta s\phi - (y_G W - y_B B)s\theta \end{bmatrix} \quad (13)$$

where the x_B, y_B and z_B are the components of the \mathbf{r}_B that is used to define the location of buoyancy center with respect to origin of body-fixed frame. For simplicity, the location of CB is chosen to coincide with the body fixed frame. Thus, the components of \mathbf{r}_B will be zero in calculations.

3 CONTROL SYSTEM DESIGN FOR AUV

The 6-DOF equations of motion given in previous section are decoupled to slightly interacting subsystems in order to design control systems for the vehicle speed, roll, depth and heading.

3.1 Forward (Surge) Speed Control

The vehicle's forward speed dynamics can be obtained by assuming that the other velocities are zero.

$$\dot{u} = \frac{(m - X_{\dot{u}})X_{u|u}|u|}{(m - X_{\dot{u}})^2 + m^2 z_G^2} + \frac{(m - X_{\dot{u}})}{(m - X_{\dot{u}})^2 + m^2 z_G^2} X_{prop} \quad (14)$$

X_{prop} is control force acting on the vehicle along x -axis due to the propeller(s). The forward speed can be controlled using feedback linearization. The control force X_{prop} can be chosen as follows:

$$X_{prop} = \frac{1}{b_u} \left(-f_u + \dot{u}_d - K_p e_u - K_i \int_0^t e_u d\tau \right) \quad (15)$$

where

$$f_u = \frac{(m - X_{\dot{u}})X_{u|u}|u|}{(m - X_{\dot{u}})^2 + m^2 z_G^2}; \quad b_u = \frac{(m - X_{\dot{u}})}{(m - X_{\dot{u}})^2 + m^2 z_G^2};$$

The block diagram for surge speed control system is given in Fig. 2.

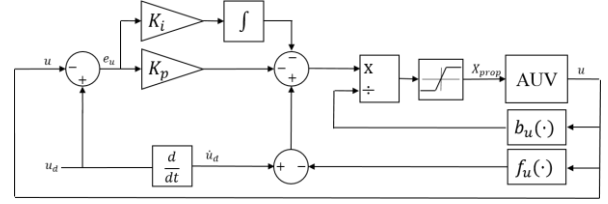


Fig. 2. Surge Speed Control System Block Diagram

u_d is desired speed and $e_u = u - u_d$ is speed error. Selected control law yields to following error dynamics:

$$\ddot{e}_u + K_p \dot{e}_u + K_i e_u = 0 \quad (16)$$

The error dynamics implies that the speed error converges to zero for positive constants K_p and K_i so the forward speed u converges to desired speed u_d . The error dynamics also suggests that the controller gains can be selected using the second order system properties which are $K_p = 2\zeta\omega_n$ and $K_i = \omega_n^2$.

3.2 Roll Control

In general, the roll position and velocity values are assumed as zero and neglected in control system design. However, the roll effect can be actively controlled using fins, internal mass, counter rotating propellers and etc. Here, the control system is designed for roll subsystem by assuming that the vehicle have independent control input K_{prop} . The decoupled roll dynamics are given below.

$$\begin{aligned} \dot{\phi} &= p \\ \dot{p} &= f_p + b_p K_{prop} \end{aligned} \quad (17)$$

where

$$f_p = \frac{(I_x - K_{\dot{p}})(K_{p|p}|p| - z_G s\phi W) + (B - W)(m z_G s\phi)}{(I_x - K_{\dot{p}})^2 + m^2 z_G^2}$$

$$b_p = \frac{(I_x - K_{\dot{p}})}{(I_x - K_{\dot{p}})^2 + m^2 z_G^2}$$

Backstepping method can be applied to control the roll motion. In the first equation, the p is considered as a virtual controller.

$$\dot{\phi} = u_c = -\lambda\phi; \quad \lambda > 0 \quad (18)$$

The ϕ is an asymptotically stable with the required decay rate according to the value of λ .

The second variable p is chosen to be equal to the virtual control u_c in order to ϕ to be an asymptotically stable. The control K_{prop} can be designed to regulate the following output:

$$y_p = p - u_c = p + \lambda\phi \quad (19)$$

Differentiating the y_p yields

$$\dot{y}_p = \dot{p} - \dot{u}_c = f_p + b_p K_{prop} - \dot{u}_c \quad (20)$$

where

$$\dot{u}_c = -\lambda\dot{\phi} = -\lambda p. \text{ Let us select the } K_{prop} \text{ as}$$

$$K_{prop} = \frac{1}{b_p} (\dot{u}_c - f_p - \alpha y_p) \quad (21)$$

Then the equation (20) becomes $\dot{y}_p = -\alpha y_p$ for $\alpha > 0$ which means that the y_p goes exponentially asymptotically zero as time goes to infinity. The stability proof is given in the sense of Lyapunov. The Lyapunov function V is selected as

$$V = \frac{1}{2}\phi^2 + \frac{1}{2}y_p^2 \quad (22)$$

Differentiating V yields

$$\dot{V} = \phi\dot{\phi} + y_p\dot{y}_p = -\lambda\phi^2 - \alpha y_p^2 < 0 \quad (23)$$

The system is asymptotically stable and as y_p approach zero, then p goes to u_c . Finally the roll control law is obtained.

$$K_{prop} = \frac{1}{b_p}(-\lambda p - f_p - \alpha(p + \lambda\phi)) \quad (24)$$

The roll control system block diagram is shown in

Fig. 3.

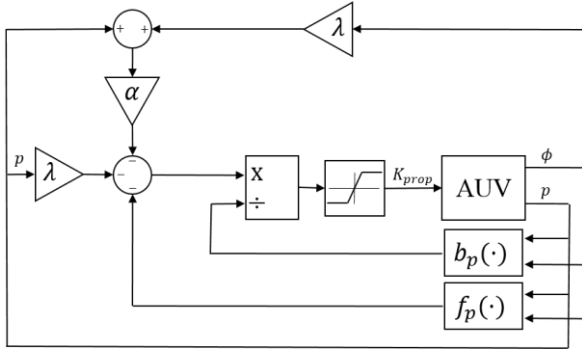


Fig. 3. Roll Control System Block Diagram

3.3 Depth Control

The nonlinear equations of motion for depth subsystem of AUV is:

$$\begin{aligned} \dot{z} &= -u_0 \sin\theta \\ \dot{\theta} &= q \\ \dot{q} &= \frac{(M_{q|q}|q| + M_{uq})q - W_{zg} \sin\theta}{(I_y - M_{\dot{q}})} + \frac{M_{uu}\delta_s u_0^2}{(I_y - M_{\dot{q}})} \delta_s \end{aligned} \quad (25)$$

It is assumed that the vehicle is moving with a constant speed u_0 , other velocities except the longitudinal states are zero. The depth equations are linearized and following linear depth equation system is obtained:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & I_y - M_{\dot{q}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{z} \\ \dot{\theta} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -u_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -W_{zg} & M_{\dot{q}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} z \\ \theta \\ q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_{\delta_s} \end{bmatrix} \delta_s \quad (26)$$

The linear system can be written in generalized state-space form.

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ A &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & I_y - M_{\dot{q}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 & -u_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -W_{zg} & M_{\dot{q}} \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & I_y - M_{\dot{q}} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ M_{\delta_s} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (27)$$

PID controller which consist of an inner proportional and derivative (PD) pitch loop and outer proportional depth loop will be designed.

The first step is to find the inner loop transfer function that defines the relation between the input stern angle δ_s and output pitch angle θ . Taking derivative of $\dot{\theta}$ and substituting into the pitch velocity equation yields

$$(I_y - M_{\dot{q}})\ddot{\theta} - M_{\dot{q}}\dot{\theta} + W_{zg}\theta = M_{\delta_s}\delta_s \quad (28)$$

The open loop transfer function $G_{\theta}(s)$ is finally found as

$$G_{\theta}(s) = \frac{\theta(s)}{\delta_s(s)} = \frac{M_{\delta_s}}{s^2 - \frac{M_{\dot{q}}}{I_y - M_{\dot{q}}}s + \frac{W_{zg}}{I_y - M_{\dot{q}}}} \quad (29)$$

The transfer function between the vehicle pitch angle θ and the vehicle depth position z is easily written from equation (26).

$$G_z(s) = \frac{Z(s)}{\theta(s)} = -\frac{u_0}{s} \quad (30)$$

The PD control law for inner pitch loop can be written as follows:

$$\frac{\delta_s(s)}{E_{\theta}(s)} = K_{\theta p}(\tau_{\theta d}s + 1) = (K_{\theta p} + K_{\theta d}s) \quad (31)$$

where

$E_{\theta}(s) = \theta_d(s) - \theta(s)$ is the pitch error, $K_{\theta p}$ is the proportional gain and $K_{\theta d}$ is the derivative gain.

The control law for the outer depth loop can be expressed using proportional gain K_{pz} .

$$\frac{\theta(s)}{E_z(s)} = K_{pz} \quad (32)$$

The PID controller gains can be analytically calculated or root locus analysis using desired closed loop pole locations. The control system block diagram for depth and pitch motion including the position and fin saturation limits is given in Fig. 4.

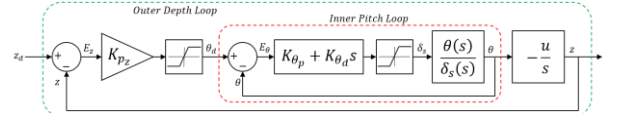


Fig. 4. Depth Control System Block Diagram

3.4 Heading Control

In heading control, single input multiple states (SIMS) sliding mode control defined in [4] is used. The nonlinear damping terms are neglected and following linear equations of motion in lateral plane are obtained.

$$\begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & -Y_r & 0 \\ -N_{\dot{v}} & I_z - N_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{v} \\ \dot{r} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_v & Y_r - (m - X_{\dot{u}})u_0 & 0 \\ (m - X_{\dot{u}})u_0 + N_v & N_r & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ r \\ \psi \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} Y_{\delta_r} u_0^2 \\ N_{\delta_r} \\ 0 \end{bmatrix} \delta_r \quad (33)$$

The linear lateral system can be written in generalized form:

$$\dot{x} = Ax + Bu + f(x) \quad (34)$$

where

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & -Y_r & 0 \\ -N_{\dot{v}} & I_z - N_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_v & Y_r - mu_0 & 0 \\ mu_0 + N_v & N_r & 0 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & 0 \\ A_{21} & A_{22} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ B &= \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & -Y_r & 0 \\ -N_{\dot{v}} & I_z - N_r & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} Y_{\delta_r} \\ N_{\delta_r} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \\ 0 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$f(x)$ is considered as a nonlinear function that describes the deviation from linearity in terms of disturbances and unmodelled dynamics.

The set of sliding surfaces based on state variable errors is defined.

$$\sigma(\tilde{x}) = \mathbf{h}^T \tilde{x} \quad (35)$$

where $\tilde{x} = \mathbf{x} - \mathbf{x}_d$ is the tracking error and $\mathbf{h} \in R^n$ is a vector of known coefficients which are not arbitrary and calculated later. The control law for the heading control system is given below:

$$u = \hat{u} + \bar{u} \quad (36)$$

where $\hat{u} = -\mathbf{K}\mathbf{x}$ and \bar{u} is the sliding controller. Substituting these inputs to (34) yields

$$\dot{\mathbf{x}} = (\mathbf{A} - \mathbf{BK})\mathbf{x} + \mathbf{B}\bar{u} + \mathbf{f}(x) = \mathbf{A}_c\mathbf{x} + \mathbf{B}\bar{u} + \mathbf{f}(x) \quad (37)$$

The gain vector \mathbf{K} can be calculated by pole placement specifying the closed loop state matrix \mathbf{A}_c . The nonlinear part \bar{u} is selected as:

$$\bar{u} = (\mathbf{h}^T \mathbf{B})^{-1} (\mathbf{h}^T \dot{\mathbf{x}}_d - \mathbf{h}^T \hat{\mathbf{f}}(x) - \eta \text{sgn}(\sigma)), \eta > 0 \quad (38)$$

$\hat{\mathbf{f}}(x)$ is the estimate of $\mathbf{f}(x)$. The vector of \mathbf{h} can be chosen as the right eigenvector of \mathbf{A}_c^T for the eigenvalue $\lambda = 0$. The sliding dynamics finally reduces to

$$\dot{\sigma} = -\eta \text{sgn}(\sigma) + \mathbf{h}^T \tilde{\mathbf{f}}; \quad \tilde{\mathbf{f}} = \mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}} \quad (39)$$

The Lyapunov function candidate can be chosen as energy like function and differentiation the Lyapunov function yields

$$V = 0.5\sigma^2 \quad (40)$$

$$\dot{V} = \sigma\dot{\sigma} = -\eta|\sigma| + \sigma\mathbf{h}^T \tilde{\mathbf{f}}$$

Selecting the η according to condition $\eta > \|\mathbf{h}\| \cdot \|\tilde{\mathbf{f}}\|$ ensures that $\dot{V} \leq 0$ and σ converges to zero in finite time. In implementation, $\text{sgn}(\sigma)$ is replaced with $\tanh(\sigma/\phi)$ in order to remove chattering and discontinuities. Here the parameter ϕ is called the sliding surface boundary layer thickness. Finally, the following control law for heading system is obtained:

$$u = -\mathbf{K}\mathbf{x} + (\mathbf{h}^T \mathbf{B})^{-1} [\mathbf{h}^T \dot{\mathbf{x}}_d - \mathbf{h}^T \hat{\mathbf{f}}(x) - \eta \tanh(\sigma/\phi)] \quad (41)$$

The control system block diagram for heading subsystem is given in Fig. 5.

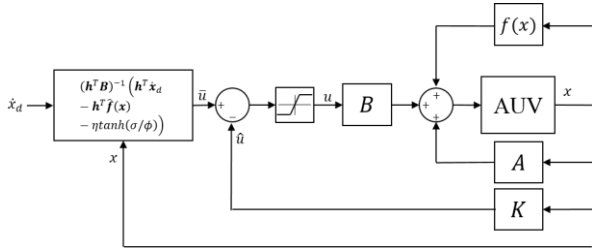


Fig. 5. Heading Control System Block Diagram

4 SIMULATION RESULTS

Decoupled subsystems and controllers obtained in previous sections are implemented in MATLAB/Simulink using the parameters of REMUS AUV in [7].

Forward speed u of the vehicle is 1.54 m/s for REMUS. The initial condition of roll angle is set to 30° . Desired depth value is $z_d = 15 \text{ m}$ and heading angle is $\psi_d = 30^\circ$. The simulation results are given below.

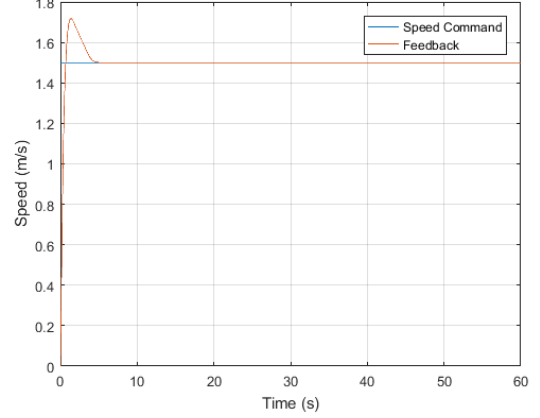


Fig. 6. Forward Speed Step Response, $u_d = 1.54 \text{ m/s}$

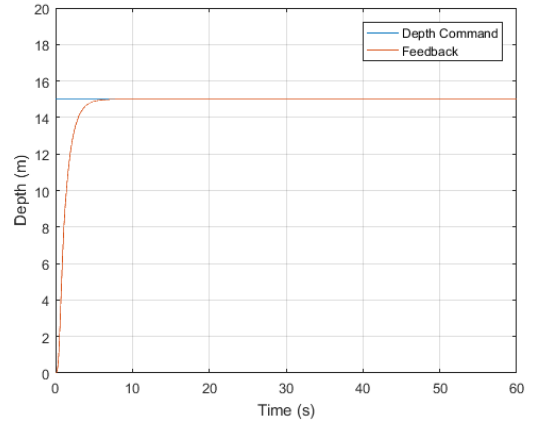


Fig. 7. Depth Step Response, $z_d = 15 \text{ m}$

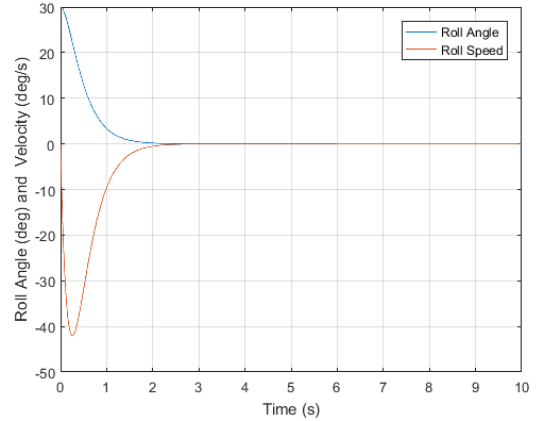


Fig. 8. Roll Motion Response, $\phi_0 = 30^\circ$

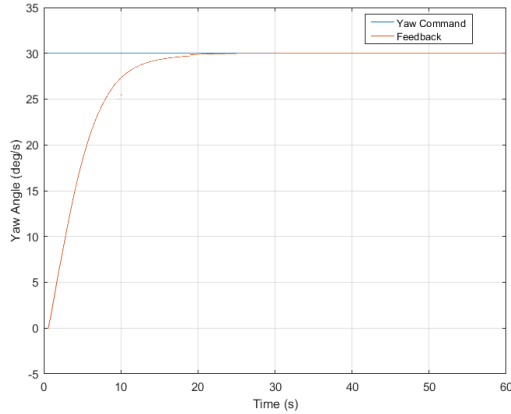


Fig. 9. Yaw Position Step Response, $\psi_d = 30^\circ$

Simulation results show that controllers are working properly for the REMUS AUV simulation model.

5 CONCLUSIONS AND FUTURE WORKS

In this study, decoupled control design for torpedo shaped AUVs has been examined. The dynamic equations are decoupled in order to control speed, roll, depth and heading states of the vehicle. Feedback linearization method is used to control the forward speed. The roll effect is not neglected here and backstepping method is applied to stabilize the roll motion. The depth of the vehicle is controlled using cascaded proportional and proportional-derivate controller. Single input multiple states (SIMS) sliding mode controller is designed to reach the desired heading angle. Simulation results obtained by MATLAB/Simulink environment have been reported. The simulation results show that designing independent controllers for decoupled systems gives successful results. Adaptive controllers will be designed and implemented in the next study since the hydrodynamic coefficients are difficult to measure. State estimators will also be proposed in order to obtain unmeasured states of the vehicle and disturbances due to the subsea environment. Outputs of this study will be implemented and tested on TORK system, an anti-torpedo torpedo system developed by ASELSAN Inc., Turkey.

REFERENCES

- [1] Shi, J. (2006). Design of sliding mode autopilot with steady-state error elimination for autonomous underwater vehicles. *TENCON 2006. 2006 IEEE Region 10 Conference*, p. 1-4.
- [2] Allen, B., Stokey, R., Austin, T., Forrester, N., Goldsborough, R., Purcell, M., Von Alt, C., (1997). REMUS: A Small, Low Cost AUV; System Description, Field Trials And Performance Results. *OCEANS '97.MTS/IEEE Conference Proceedings*, Page(s): 994- 1000 Vol.2. 1997
- [3] Singh, S. B., (2008). Almost global feedback control of autonomous underwater vehicles. *Doctoral dissertation*, University of Hawaii, Manoa.

- [4] A. Healey, and D. Lienard, (1993). Multivariable Sliding Mode Control for Autonomous Diving and Steering of Unmanned Underwater Vehicles, *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, Vol. 18, No. 3, p. 327- 339.
- [5] M.Y., Radzak, M.R., Arshad, Underwater Robotics Research Group (URRG) School of Electrical and Electronic Engineering, Universiti Sains Malaysia (USM), Engineering Campus, 14300 Seberang Prai Selatan, Pulau Pinang, Malaysia.
- [6] D.G. Lainiotis, Dinesh Menon, K.N. Plataniotis, Adaptive Filter Applications To Autonomous Underwater Vehicle, c.1. Charalampous Florida Institute of Technology Melbourne, Florida.
- [7] T., Prestero, (2001). Verification of a Six-Degree of Freedom Simulation Model for the REMUS Autonomous Underwater Vehicle. *Master thesis*, Massachusetts Institute of Technology and Woods Hole Oceanographic Institution.
- [8] T.I., Fossen, (1994). Guidance and Control of Ocean Vehicles, John Wiley & Sons, England.
- [9] SNAME (1950). The Society of Naval Architects and Marine Engineers. Nomenclature for Treating the Motion of a Submerged Body Through a Fluid, *Technical and Research Bulletin No. 1-5*.

Authors' addresses

¹Alper Yalman, Servo and Stabilization Technologies Design Department, ASELSAN Inc., 06370, Ankara, Turkey, +90 (537) 500 10 10, ayalman@aselsan.com.tr

²Aydn Yeşildirek, Assoc. Professor, YTU Department of Mechatronics Engineering, 34349, Besiktas, Istanbul, +90 (507) 2823600, aydin.yesildirek@gmail.com

Contact person

*Alper Yalman, Servo and Stabilization Technologies Design Department, ASELSAN Inc., 06370, Ankara, Turkey, +90 (537) 500 10 10, ayalman@aselsan.com.tr

Finsler Geometri Tabanlı Rüzgar Hızı Modellemesi için Yeni Bir Metrik Tanımlama

Emrah DOKUR^{1,*}, Salim CEYHAN², Mehmet KURBAN³

Özet: Doğayı anlamak amacıyla düz olmayan uzaylar içerisinde geometri inşa etmek uygulamalı bilimler açısından büyük önem arz etmektedir. Finsler geometrisi de bu uygulama alanı içerisinde hassas bir yaklaşım ile asimmetrik yapılarda modelleme ve tanımlama yeteneğini bizlere getirmektedir. Bu çalışmada 2-boyutlu Finsler uzaylarının metrik fonksiyonu, rüzgar hızı modellemesi gibi bir çok uygulama alanında kullanılan iki parametrelili Weibull dağılımı için elde edilmiştir. Şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerine sahip olan Weibull olasılık dağılım fonksiyonuna Finsler geometrisi ile farklı bir yaklaşım getirilerek 2-boyutlu Finsler uzayında metrik tanımlaması gerçekleştirilmiştir. Gelecek çalışmalara ışık tutması açısından bu yeni yaklaşım ile özellikle bir bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan iki parametrelili Weibull olasılık dağılım fonksiyonunu içeren daha hassas modellerin oluşturulabilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Finsler Geometri, Geodezik, İki Parametrelili Weibull Dağılımı.

1. GİRİŞ

İki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonu, mekanik, biosistem, nükleer ve enerji sistemleri mühendisliği gibi birçok uygulamalı bilim alanında güvenilirlik analizi, sağkalım analizi ve modelleme gibi farklı amaçlar doğrultusunda en sık kullanılan dağılım fonksiyonları arasında yer almaktadır [1-6]. Literatür çalışmalarında iki parametrelili Weibull dağılımının dünya üzerinde farklı bölgeler için rüzgar enerji potansiyelini belirlemede ağırlıklı olarak kullanıldığı görülmektedir [7-14]. Yöntemin bu uygulama alanında kullanılma nedeni, rüzgar dağılımına çok iyi uyması, dağılımın esnek bir yapıya sahip olması, parametre sayısının az olması, parametrelerin bir gözlem yüksekliği için belirlenmesinin ardından farklı gözlem yükseklikleri için tahmin edilebilmesi gibi faktörlerdir. Bir bölgeye rüzgar enerjisi dönüştürme sistemi kurulmadan önce o bölgenin rüzgar hızı potansiyelinin belirlenmesi ve modellenmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda da, bölgenin geçmiş rüzgar hızı frekans dağılımına bakılıp iki parametrelili Weibull dağılımı ile yapılan modellemede ki en önemli problem, fonksiyon parametrelerinin en hassas doğrulukta tahmin edilerek en uygun modelin kurulabilmesidir. Bu amaç doğrultusunda literatürde istatistiksel ve ampirik bir çok farklı parametre tahmin metotları geliştirilmiştir [15-19]. Rüzgar hızının doğru modellenebilmesi için Weibull dağılımı dışında Rayleigh, Lognormal, Gamma, Burr ve benzeri farklı fonksiyon yapıları geliştirilerek modellemelerin yapıldığı görülebilir [20-22]. Doğru ve hassas bir model yapısının geliştirilebilmesi amacı ile yeni bir dağılım fonksiyonu yapısının belirlenmesi farklı bölgelere ait rüzgar hızı modellemesi ve diğer gerçek dünya problemleri için önem teşkil etmektedir.

Rüzgar hızı ve benzeri dağılımların simetrik olmayan ve kararsız bir karaktere sahip olması modelleme konusunda da birçok zorluğu beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda Finsler geometrisi, asimmetrik ve/veya izotropik olmayan fiziksel olguları modellemek için en iyi bilinen Riemann geometrisine

göre çok daha güçlü bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır [23-26].

Geodezikleri iki parametrelili eğri ailesi olan iki boyutlu bir Finsler uzayında Finsler metrik fonksiyonu M. Matsumoto tarafından elde edilmiştir [27-29]. Bu çalışmada iki parametrelili eğri ailesine sahip olan Weibull dağılım fonksiyonundan elde edilen negatif olmayan reel sayılarda tanımlı farklı n parametrelerine bağlı çeşitli Finsler metrikleri elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen Finsler metriklerine ait geodeziklerin hesabı verilmiştir. İkinci bölümde iki parametrelili Weibull dağılım fonksiyon yapısı ele alınırken, üçüncü bölümde Finsler metrik tanımı ve iki parametrelili eğri aileleri için Finsler metriğinin elde edilmesi adım adım gösterilmiş olup iki parametrelili eğri ailesine sahip olan Weibull dağılımı için tanımlamalar yapılmıştır.

2. İKİ-PARAMETRELİLİ WEIBULL DAĞILIMI

Rüzgar hızı frekans eğrisinin belirlenmesinde bir çok farklı yöntem bulunmaktadır. Literatür de enerjisi potansiyeli hesaplanmasında en yaygın kullanılan yaklaşım iki parametrelili Weibull dağılımıdır. Weibull dağılımının genel formu Denklem 1 'de verilmiştir.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (1)$$

şeklinde. Burada olasılık yoğunluk fonksiyonu olan $f(v)$, rüzgar hızının (v) gözlemlenme olasılığını göstermektedir. k ve c ise sırasıyla iki parametrelili Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerini ifade eder. Literatür çalışmalarına bakıldığında, rüzgarın mevcut dağılımına göre k şekil parametresi 1.2 ile 2.75 aralığında değiştiği görülmektedir. Weibull dağılımının kümülatif olasılık fonksiyonu ise Denklem 2' de verilmiştir.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (2)$$

şeklinde. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir.

3. İKİ-PARAMETRELİ WEİBULL DAĞILIMI TABANLI FİNSLER METRİK HESABI

Şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerine sahip olan iki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonlarına ait iki boyutlu Finsler uzayında farklı Finsler metrikleri ve ilişkili geodezikleri belirlemek amacı ile aşağıdaki hesaplamalar yapılmıştır. İki parametrelili eğri aileleri

$$y = f(x; a, b) \quad (3)$$

eşitlik 3 ile verilir. Bu eşitlik ile verilen (x, y) düzleminde $C(a, b)$ eğri ailesini ele alalım. Öncelikli amacımız, $F^2 = (\mathbb{R}^2, L(x, y; \dot{x}, \dot{y}))$ iki boyutlu Finsler uzayının nasıl bulunacağını göstermektir. Bu sorunun çözümüne ilişkin Darboux'un metodu çalışmamızda ele alınmıştır. İlk olarak Eşitlik 3'den;

$$z (= y') = f_x(x; a, b), \quad (4)$$

elde edilir ve 3-4 eşitliklerinden x , y ve z 'nin fonksiyonları olarak a ve b 'nin çözümleri aşağıdaki gibi olur.

$$a = \alpha(x, y, z), \quad b = \beta(x, y, z). \quad (5)$$

Daha sonra,

$$z' = f_{xx}(x; \alpha, \beta) = u(x, y, z), \quad (6)$$

ifadesi, $C(a, b)$ iki parametrelili eğri ailesini karakterize eden y 'nin ikinci mertebeden diferansiyel denklemdir. F^2 Finsler uzayında (x^1, x^2) ve (y^1, y^2) yerine, sırasıyla, (x, y) ve $(\dot{x}, \dot{y}) = (p, q)$ kullanacağız. Buna göre $C(a, b)$ eğrisinin s yay uzunluğunun diferansiyeli

$$ds = L(x, y; \dot{x}, \dot{y}) dt, \quad (\dot{x}, \dot{y}) = \left(\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt} \right). \quad (7)$$

$\dot{x} > 0$ varsayarak, $ds = L\left(x, y; 1, \frac{\dot{y}}{\dot{x}}\right) \dot{x} dt$ olur. Buna göre

$$y' = \frac{dy}{dx}, \text{ sembolünü kullanarak}$$

$$ds = A(x, y, y') dx, \quad (8)$$

elde edilir. Buradan

$$A(x, y, y') = L(x, y; 1, y') \quad (9)$$

ilişkisi elde edilir. Tersine olarak A'dan L'de

$$L(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = A\left(x, y, \frac{\dot{y}}{\dot{x}}\right) \dot{x}. \quad (10)$$

ilişkisinde görülebilir.

Geodezik, bir eğri boyunca hesaplanan $s = \int_{t_0}^t L(x, y; \dot{x}, \dot{y}) dt$ uzunluk integralini minimum yapan eğridir ve

$$\ddot{x}^i + 2G^i(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = 0 \quad (11)$$

Euler denkleminde elde edilir. Burada

$$G^i(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = \frac{1}{2} g^{ij} \left\{ \frac{\partial^2 F}{\partial x^j \partial y^i} y^j - \frac{\partial F}{\partial x^i} \right\} \quad (12)$$

şeklinde tanımlanan spray katsayıları ve

$$F(x, y; \dot{x}, \dot{y}) = \frac{L^2(x, y; \dot{x}, \dot{y})}{2} \text{ finsler metriğini ifade eder.}$$

Geodezikleri veren Euler denkleminin Rashevsky formunu ele alırsak

$$A_{zz} y'' + A_{yz} y' + A_{zz} - A_y = 0, z = y' \quad (13)$$

eşitliği yazılır. Burada $A(x, y, z)$ ilişkili temel fonksiyondur ve Eşitlik X 'de tanımlanmıştır. Darboux'un teoremine göre genel temel metrik tanımı [27];

$$A(x, y, z) = \int_0^z (z-t) H(t, y-tx) dt + zE_y + E_x \quad (14)$$

şeklinde verilmiştir. Burada $H(\alpha, \beta)$ ve $E(x, y)$ keyfi olarak seçilebilir. Matsumoto'nun çalışmasında temel metrik fonksiyonu bir başka formda Eşitlik 38'de

$$L(x, y, \dot{x}, \dot{y}) = \dot{x} \int_0^z (z-t) H(t, y-tx) dt + \dot{x} E_x + \dot{y} E_y. \quad (15)$$

şeklinde verilmiştir [28].

Şimdi

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}, \quad (16)$$

şeklinde tanımlanan iki parametrelili Weibull kümülatif fonksiyonunu ele alarak;

$$C(k, c) : y = f(v; k, c)$$

iki parametrelili bir eğri ailesi tanımlayalım.

Verilen eğri ailesi doğrusal olması durumunda gerekli bazı büyüklükler aşağıdaki gibi elde edilir [28].

$$\alpha = z, \beta = y - zx, U = 1, V = 1.$$

iki parametrelili Weibull kümülatif fonksiyonunun doğrusal hali

$$y = \log[-\log(1 - F(v))] = k \log \frac{v}{c} \quad (17)$$

$$= k x - k \log c.$$

şeklinde elde edilir.

İki parametrelili Weibull dağılımına sahip eğri aileleri için $H(\alpha, \beta)$ ve $E(x, y)$ fonksiyonlarının keyfi seçimlerine bağlı olarak farklı Finsler metrikleri ve ilişkili geodezikler bir sonraki bölümde ele alınmıştır. İki parametrelili Weibull dağılımı için metrik fonksiyonu Eşitlik 15'de $H(\alpha, \beta) = \beta^n$ seçimiyle n keyfi negatif olmayan reel sayılar için farklı Finsler metrikleri elde edilecektir. Bunun için Eşitlik 15'de $H(z, y - zx) = \beta^n = (y - zx)^n$ ve $E = \text{sabit}$ seçimi ile iki parametrelili Weibull dağılımına ait metrik fonksiyonu;

$$L(x, y, \dot{x}, \dot{y}) = \frac{y^{(n+2)} \dot{x}}{x^2} \sum_{k=0}^n \binom{n+2}{k+2} \left(-\frac{x\dot{y}}{y\dot{x}} \right)^{(k+2)}. \quad (18)$$

formunda elde edilir. Elde edilen fonksiyonun Finsler metriği koşullarını sağladığı kolayca görülebilir.

4. SONUÇ

İki parametrelili Weibull dağılımı gerçek dünya problemlerinde lineer olmayan yapılar için modelleme imkanını bizlere sunmaktadır. Simetrik olmayan ve kararsız bir karaktere sahip olan rüzgar hızı modelleri de bu gerçek dünya problemlerinden biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kapsamda Finsler geometri asimetric ve / veya izotropik olmayan fiziksel olguları modelleme kabiliyetini bu dağılım üzerinde uygulanması hassas bir modellemeyi de beraberinde getirecektir. Bu sebeple yapılan bu çalışma kapsamında iki parametrelili eğri ailesine sahip olan Weibull dağılım fonksiyonuna ait Finsler metrikleri elde edilmiştir.

İki parametrelili Weibull dağılım fonksiyonları ailesine ait Finsler metriğinin elde edilmesi için keyfi fonksiyon $H(z, y - zx) = \beta^n$ şeklinde seçilmiştir. Elde edilen Finsler metriği ile gelecek çalışmalarda yeni bir model önerimi ve rüzgar hızı modellenmesinde kullanımı üzerine araştırmaların yapılabileceği öngörülmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Guure, Chris Bambey, Noor Akma Ibrahim, and Al Omari Mohammed Ahmed. "Bayesian estimation of two-parameter weibull distribution using extension of Jeffreys' prior information with three loss functions." *Mathematical Problems in Engineering* 2012 (2012).
- [2] Baharum, Adam, Faris Mahdi Alwan, and Saad Talib Hasson. "A Case Study of Reliability and Performance of the Electric Power Distribution Station Based on Time between Failures." *Mathematical Problems in Engineering* 2013 (2013).
- [3] Diamantopoulou, Maria J., et al. "Estimation of Weibull function parameters for modelling tree diameter distribution using least squares and artificial neural networks methods." *Biosystems Engineering* 133 (2015): 33-45.
- [4] Enss, Georg C., and Roland Platz. "Evaluation of uncertainty in experimental active buckling control of a slender beam-column with disturbance forces using Weibull analysis." *Mechanical Systems and Signal Processing* (2016).
- [5] Haidyrah, Ahmed S., Joseph W. Newkirk, and Carlos H. Castaño. "Weibull statistical analysis of Krouse type bending fatigue of nuclear materials." *Journal of Nuclear Materials* 470 (2016): 244-250.
- [6] Quercia, G., D. Chan, and K. Luke. "Weibull statistics applied to tensile testing for oil well cement compositions." *Journal of Petroleum Science and Engineering* 146 (2016): 536-544.
- [7] Akdağ, Seyit Ahmet, and Önder Güler. "A novel energy pattern factor method for wind speed distribution parameter estimation." *Energy Conversion and Management* 106 (2015): 1124-1133.
- [8] Ozay, Can, and Melih Soner Celiktas. "Statistical analysis of wind speed using two-parameter Weibull distribution in Alaçatı region." *Energy Conversion and Management* 121 (2016): 49-54.
- [9] Baseer, M. A., et al. "Wind power characteristics of seven data collection sites in Jubail, Saudi Arabia using Weibull parameters." *Renewable Energy* 102 (2017): 35-49 (In Press).
- [10] Lee, Jong Kuk, et al. "Weibull parameter calculation and estimation of directional and seasonal wind speeds for the return period: A case study in the Barakah NPP area." *Annals of Nuclear Energy* 80 (2015): 62-69.
- [11] Saleh, H., A. Abou El-Azm Aly, and S. Abdel-Hady. "Assessment of different methods used to estimate Weibull distribution parameters for wind speed in Zafarana wind farm, Suez Gulf, Egypt." *Energy* 44.1 (2012): 710-719.
- [12] Chellali, F., et al. "A comparison between wind speed distributions derived from the maximum entropy principle and Weibull distribution. Case of study; six regions of Algeria." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16.1 (2012): 379-385.
- [13] Alavi, Omid, Ahmad Sedaghat, and Ali Mostafaeipour. "Sensitivity analysis of different wind speed distribution models with actual and truncated wind data: A case study for Kerman, Iran." *Energy Conversion and Management* 120 (2016): 51-61.
- [14] De Andrade, Carla Freitas, et al. "An efficiency comparison of numerical methods for determining Weibull parameters for wind energy applications: A new approach applied to the northeast region of Brazil." *Energy conversion and Management* 86 (2014): 801-808.

- [15] Stevens, M. J. M., and P. T. Smulders. "The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes." *Wind engineering* (1979): 132-145.
- [16] Justus, C. G., et al. "Methods for estimating wind speed frequency distributions." *Journal of applied meteorology* 17.3 (1978): 350-353.
- [17] Akdağ, Seyit A., and Ali Dinler. "A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications." *Energy conversion and management* 50.7 (2009): 1761-1766.
- [18] Lysen E H. *Introduction to wind energy*. The Netherlands: SWD Publication SWD 82-1; 1983.
- [19] Carneiro, Tatiane C., et al. "Particle Swarm Optimization method for estimation of Weibull parameters: A case study for the Brazilian northeast region." *Renewable Energy* 86 (2016): 751-759.
- [20] Masseran, Nurulkamal, et al. "The probability distribution model of wind speed over East Malaysia." *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology* 6.10 (2013): 1774-1779.
- [21] Brano, Valerio Lo, et al. "Quality of wind speed fitting distributions for the urban area of Palermo, Italy." *Renewable Energy* 36.3 (2011): 1026-1039.
- [22] Qin, Zhilong, Wenyuan Li, and Xiaofu Xiong. "Generation system reliability evaluation incorporating correlations of wind speeds with different distributions." *IEEE Transactions on Power Systems* 28.1 (2013): 551-558.
- [23] Markvorsen, Steen. "A Finsler geodesic spray paradigm for wildfire spread modelling." *Nonlinear Analysis: Real World Applications* 28 (2016): 208-228.
- [24] Antonelli, Peter L., Andrej Bóna, and Michael A. Slawiński. "Seismic rays as Finsler geodesics." *Nonlinear analysis: real world applications* 4.5 (2003): 711-722.
- [25] Yajima, Takahiro, and Hiroyuki Nagahama. "Finsler geometry for nonlinear path of fluids flow through inhomogeneous media." *Nonlinear Analysis: Real World Applications* 25 (2015): 1-8.
- [26] Bao, David, Colleen Robles, and Zhongmin Shen. "Zermelo navigation on Riemannian manifolds." *Journal of Differential Geometry* 66.3 (2004): 377-435.
- [27] Matsumoto, Makoto. "The inverse problem of variation calculus in two-dimensional Finsler space." *Journal of Mathematics of Kyoto University* 29.3 (1989): 489-496.
- [28] Matsumoto, M. "Geodesics of two-dimensional Finsler spaces." *Mathematical and computer modelling* 20.4 (1994): 1-23.
- [29] Matsumoto, Makoto. "Two-dimensional Finsler spaces whose geodesics constitute a family of special conic sections." *Journal of Mathematics of Kyoto University* 35.3 (1995): 357-376.

Yazar İletişimleri

¹*Emrah Dokur, Arş.Gör., Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü, +90228 214 14 18, emrah.dokur@bilecik.edu.tr*

²*Salim CEYHAN, Yrd.Doç.Dr., Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, +90228 214 17 21, salim.ceyhan@bilecik.edu.tr*

³*Mehmet KURBAN, Prof.Dr., Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü, +90228 214 15 49, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr*

Sorumlu Yazar

* *Emrah Dokur, Arş.Gör., Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü, +90228 214 14 18, emrah.dokur@bilecik.edu.tr*

İki Parametrelili Ters Weibull Dağılımının Rüzgar Hızı Modellemesinde Kullanımı

Emrah DOKUR^{1,*}, Salim CEYHAN², Mehmet KURBAN³

Özet: Bir bölgeye rüzgar enerjisi dönüştürme sistemi kurulmadan önce o bölgenin rüzgar enerji potansiyelinin modellenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Rüzgar hızı ve benzeri dağılımların simetrik olmayan ve kararsız bir karaktere sahip olması modelleme konusunda da birçok zorluğu beraberinde getirmektedir. Bu kapsamda literatürde Lognormal, Gamma, Burr, Rayleigh ve Weibull dağılım fonksiyonları rüzgar hızı modellemesinde sıklıkla kullanılan fonksiyon yapıları olarak karşımıza çıkmaktadır. Yapılan son dönem çalışmalarında iki parametrelili Ters Weibull dağılımının da rüzgar hızı modellerinde kullanılabileceği önerilmektedir.

Bu çalışmada, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün Ekim 2015-Eylül 2016 yılı Keban meteoroloji istasyonunda 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı verileri kullanılarak, Keban bölgesi rüzgar hızı karakteristiği istatistiksel olarak analiz edilmiştir. Bölgenin rüzgar hızı potansiyeli araştırmasında iki parametrelili Ters Weibull dağılımı kullanılmıştır. Bu kapsamda Ters Weibull fonksiyonunda yer alan şekil parametresi k , ölçek parametresi c , en yüksek olasılık yöntemi ile hesaplanmış olup tüm analizler Matlab (Matrix Laboratory) yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir. Aylık yıllık ve mevsimsel olarak rüzgar hızları Ters Weibull dağılımına göre istatistiksel olarak modellenmiştir. Yine modelin doğruluğu performans kriteri olarak seçilen RMSE (Root Mean Square Error) ile hesaplanarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Rüzgar Hızı Modellemesi, Ters Weibull Dağılımı, Parametre Tahmini.

1. GİRİŞ

Günümüzde enerji ihtiyacına paralel olarak hızla artan enerji üretiminin yapısı, planlanması verimliliği yanında çevreye olan etkisi de araştırma ve çalışma alanları arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, fosil yakıtların çevreye olan zararı ile birlikte, elektrik enerjisinin temiz enerji kaynakları ile üretimi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranını hızla artırmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında yer alan rüzgar enerjisinin kullanımı da ülkemizde ve dünyada hızla artmaktadır. Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji payının 2020 yılına kadar % 20'ye ulaşması ve bu yenilenebilir enerjinin ana bölümünün rüzgar enerjisine tahsis edildiği ve bu değer % 12 olması gerektiği öngörülmektedir [1].

Rüzgar enerjisi dönüştürme sistemleri bir bölgeye tesis edilmeden önce o bölgenin rüzgar hızı karakteristiğini bilmesi ve modellenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda rüzgar hızı modellemesi için literatürde bir çok farklı yaklaşım mevcuttur. Log normal dağılımı, Ters Gauss dağılımı, üç parametrelili Log normal dağılımı, Gamma dağılımı, üç parametrelili genelleştirilmiş Gamma dağılımı, iki-parametrelili Weibull dağılımı, Rayleigh dağılımı ve benzeri bir çok dağılım yöntemi rüzgar hızı modellemesinde kullanılmaktadır [2-18].

Ters Weibull dağılımı ise literatürde, Akgül ve arkadaşları tarafından mevsimsel rüzgar hızı modellemesi için kullanılmıştır. Yapılan analizlerde Bursa ve Sakarya bölgeleri için mevsimsel olarak modellemeler yapılmıştır [19].

Bu çalışmada ise, Ters Weibull dağılımı kullanılarak sadece mevsimsel anlamda değil aynı zamanda aylık bazda da Ters Weibull dağılımının, iki-parametrelili Weibull dağılımına ve Rayleigh dağılımına göre performansı, Devlet Meteoroloji İşleri Genel

Müdürlüğü'nün Ekim 2015-Eylül 2016 yılı Keban meteoroloji istasyonunda 10 metre yükseklikte ölçülen saatlik ortalama rüzgar hızı verileri üzerinden analiz edilecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde iki-parametrelili Weibull dağılımı, Ters Weibull dağılımı ve Rayleigh dağılımları ele alınacaktır. Üçüncü bölümde ise rüzgar verileri ve yapılan analiz sonuçları gösterilecek olup son bölümde sonuçlar karşılaştırmalı analizlerle verilecektir.

2. METOTLAR

Bu bölümde iki-parametrelili Weibull, Ters Weibull ve Rayleigh dağılım fonksiyonlarının yapısı ele alınacaktır. Aynı zamanda bu dağılım fonksiyonlarının uygun modelleme yapısında kullanılabilemesinin en büyük zorluğu parametrelerinin hassas bir şekilde tahmin edilebilmesidir. Bu kapsamda da en yüksek olasılık metodu tüm dağılım fonksiyonlarının parametre kestirimi için kullanımı gösterilecektir.

Rüzgar hızı frekans eğrisinin belirlenmesinde bir çok farklı yöntem bulunmaktadır. Literatür de rüzgar enerjisi potansiyeli hesaplanmasında en yaygın kullanılan yaklaşım iki parametrelili Weibull dağılımıdır. Weibull dağılımının genel formu Eşitlik (1) 'de verilmiştir.

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c} \right)^k} \quad (1)$$

şeklinde. Burada olasılık yoğunluk fonksiyonu olan $f(v)$, rüzgar hızının (v) gözlemlenme olasılığını göstermektedir. k ve c ise sırasıyla iki parametrelili Weibull dağılımının şekil ve ölçek parametrelerini ifade eder. Literatür çalışmalarına bakıldığında, rüzgarın mevcut dağılımına göre k şekil parametresi 1.2 ile 2.75 aralığında değiştiği görülmektedir. Weibull dağılımının

kümülatif olasılık fonksiyonu ise Eşitlik (2) de verilmiştir.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (2)$$

şeklinde. Weibull kümülatif dağılım fonksiyonu, rüzgar hızının, belli bir v değerinden küçük ya da eşit gerçekleşme olasılığını verir.

Rüzgar hızı potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan diğer bir dağılım fonksiyonu, dağılımın boyutsuz şekil faktörünün sabit bir değere ($k = 2$) sahip olduğu basitleştirilmiş bir Weibull dağılım fonksiyonu durumunda olan Rayleigh dağılım fonksiyonudur.

Akgül ve arkadaşları tarafından mevsimsel rüzgar hızı modellemesinde kullanılan Ters Weibull dağılımının olasılık ve kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonları Eşitlik (3)'de verilmiştir[19].

$$f_{TWD}(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{-k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^{-k}} \quad (3)$$

ve

$$F_{TWD}(v) = e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^{-k}} \quad (4)$$

Şekil (k) ve ölçek (c) parametrelerinin kestirimi için literatürde grafik, en yüksek olabilirlik, ampirik, güç dağılımı gibi bir çok farklı metod önerilmiştir [20-23].

İki parametrelili Weibull dağılımı için şekil ve ölçek parametrelerinin hesabı, n rüzgar hızının sayısı olmak üzere, Eşitlik (5,6)'da gösterilmiştir.

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n v_i^k \ln(v_i) - \sum_{i=1}^n \ln(v_i)}{\sum_{i=1}^n v_i^k - n} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$c = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (v_i)^k}{\sum_{i=1}^n v_i^k} \right)^{1/k} \quad (6)$$

Ters Weibull dağılımı için şekil ve ölçek parametrelerinin hesabı Eşitlik (7,8)'de gösterilmiştir.

$$k = \frac{n \sum_{i=1}^n v_i^{-k}}{\sum_{i=1}^n \ln v_i \sum_{i=1}^n v_i^{-k} - n \sum_{i=1}^n v_i^{-k} \ln v_i} \quad (7)$$

$$c = \left(\frac{n}{\sum_{i=1}^n v_i^{-k}} \right)^{1/k} \quad (8)$$

Analizlerin hata performans kriteri Eşitlik (9) gösterilen hataların karelerinin ortalamasının karekökü olan RMSE ile gösterilmiştir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (9)$$

Burada n , gözlem sayısı y_i , gerçek değerler olmak üzere, x_i ise Weibull dağılımı ile hesaplanan değerleri göstermektedir.

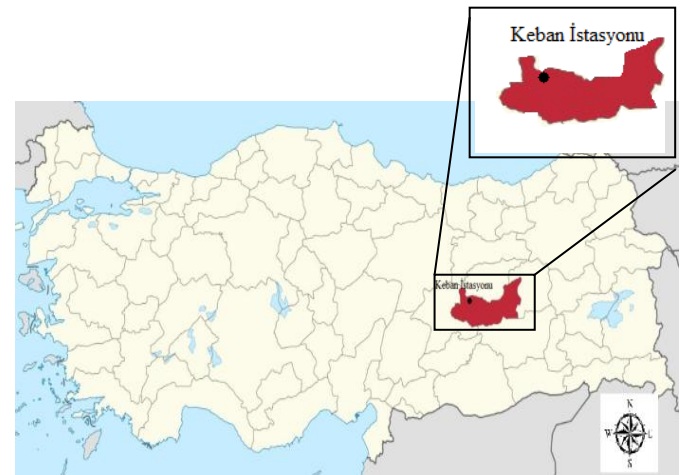
Bu çalışmada gerek metotların parametre tahminleri gerekse modellerin hata performans kriterleri MATLAB (MATrix LABoratory) yazılım ortamında gerçekleştirilmiştir.

3. KARŞILAŞTIRMALI RÜZGAR HIZI POTANSİYEL ANALİZİ

Bir bölgeye rüzgar enerjisi dönüştürme sisteminin kurulumunda mevcut ve gelecekteki rüzgar potansiyeli oldukça önemlidir. Bu sebepten dağılımın parametre tahmin değerlerinin aylık dönem çalışılmalı ve model performans kriterlerine göre en uygun model seçimi yapılmalıdır. Bu çalışmada da Elazığ ili Keban ilçesi Ekim 2015- Eylül 2016 rüzgar hızı verileri kullanılarak bölgenin aylık ve mevsimsel modellemesi iki-parametrelili Weibull (WD), Ters Weibull (TWD) ve Rayleigh dağılım (RD) fonksiyonları kullanılarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Tablo 1 ve Şekil 1'de rüzgar hızı verilerinin alındığı istasyona ait coğrafik bilgiler gösterilmiştir.

Tablo 1. Rüzgar Hızı Veri İstasyonunun Coğrafik Bilgileri

İstasyon	Enlem (°K)	Boylam (°D)	Rakım (m)	Rüzgar Hızı Periyodu
Keban	38° 47'	38° 44'	816	Ekim 2015-Eylül 2016



Şekil 1. Rüzgar hızı veri istasyonunun Türkiye'de ki konumu

Şekil ve ölçek parametrelerinin aylara göre değişimi ve üç farklı modelle bulunan analiz sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir.

Performans kriteri olarak seçilen Eşitlik (9) ile verilmiş RMSE değerine göre aylık bazlı karşılaştırma yapıldığında iki-parametrelili Weibull dağılımının diğer metotlara göre modelleme için daha uygun olacağı görülebilir.

Tablo2. Karşılaştırmalı Aylık Bazlı Analiz Sonuçları

Aylar	Metotlar	Keban		
		k	c	RMSE
Ocak	WD	1.1334	1.9295	0.0517
	TWD	0.8336	1.6737	0.1050
	RD	2.000	1.7622	0.1107
Şubat	WD	1.1948	1.5699	0.0606
	TWD	0.8510	1.4412	0.1225
	RD	2.000	1.3921	0.1477
Mart	WD	1.2001	2.3464	0.0551
	TWD	0.8451	1.7763	0.0909
	RD	2.000	2.0111	0.1080
Nisan	WD	1.3366	2.3178	0.0560
	TWD	0.8311	1.7280	0.0897
	RD	2.000	1.9101	0.0877
Mayıs	WD	1.5218	2.3480	0.0431
	TWD	0.8495	1.6067	0.0789
	RD	2.000	1.8066	0.0843
Haziran	WD	1.4355	2.7111	0.0447
	TWD	0.8229	1.9143	0.0709
	RD	2.000	2.1567	0.0608
Temmuz	WD	1.5464	2.9870	0.0414
	TWD	0.8344	1.9311	0.0727
	RD	2.000	2.2904	0.0534
Ağustos	WD	1.7677	2.2464	0.0489
	TWD	0.8634	1.3975	0.1059
	RD	2.000	1.6379	0.1115
Eylül	WD	1.3707	2.7030	0.0580
	TWD	0.8226	1.9727	0.0782
	RD	2.000	2.2231	0.0459
Ekim	WD	1.1586	1.0891	0.1504
	TWD	0.9447	0.8763	0.2515
	RD	2.000	0.9569	0.2889
Kasım	WD	0.9441	1.7177	0.1119
	TWD	0.8517	1.5308	0.1888
	RD	2.000	1.7728	0.2178
Aralık	WD	0.9441	1.7177	0.1119
	TWD	0.8675	1.4069	0.1866
	RD	2.000	1.7728	0.2178

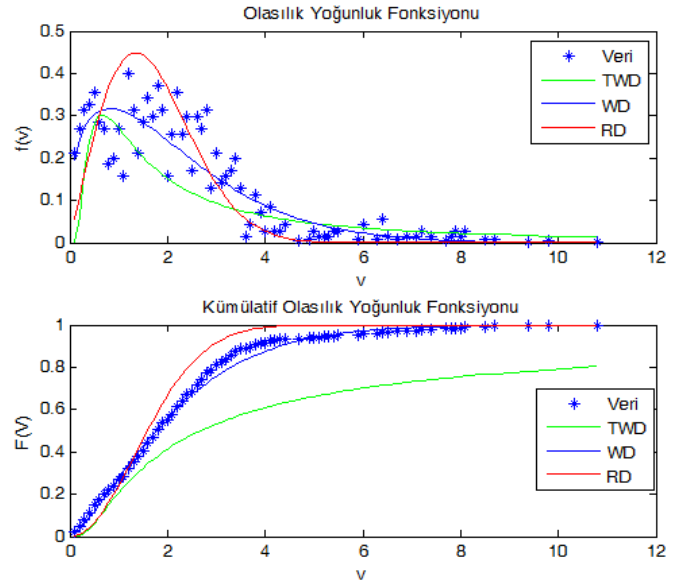
Aynı şekilde mevsimsel analizler için bulunan sonuçlar, Tablo 3'de incelendiğinde iki parametrelili Weibull dağılımının performans kriteri olan RMSE değerleri de dikkate alındığında Keban istasyonundan alınan rüzgar hızı verileri için daha uygun bir modelleme imkanını bizlere sunacağı analizler ışığında söylenebilir.

Özellikle yapılan aylık ve mevsimsel analizler sonucunda, Akgül ve arkadaşları tarafından mevsimsel rüzgar hızı modellemelerinde önerilen Ters Weibull dağılımının Keban veri seti dikkate alındığında, Rayleigh dağılımına göre sadece Kış ve İlkbahar mevsimlerinde daha iyi bir sonuç verdiği buna karşın iki-parametrelili Weibull dağılımına göre ise hata performans kriterininin hem aylık hem de mevsimsel bazda yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo3. Karşılaştırmalı Mevsimsel Bazlı Analiz Sonuçları

Mevsimler	Methods	Keban		
		k	c	RMSE
Kış	WD	1.0838	1.6533	0.0421
	TWD	0.8345	1.8624	0.1260
	RD	2.000	1.5623	0.1310
İlkbahar	WD	1.3399	2.3411	0.0308
	TWD	0.8309	1.9954	0.0719
	RD	2.000	1.9095	0.0744
Yaz	WD	1.6455	2.3773	0.0565
	TWD	0.8344	1.9311	0.0858
	RD	2.000	1.7882	0.0624
Sonbahar	WD	1.0919	1.9570	0.0511
	TWD	0.8224	2.0634	0.1081
	RD	2.000	1.8407	0.1073

Analiz sonuçlarını grafiksel yorumu örnek olarak alınan Nisan 2016 yılına ait veriler üzerinden Şekil 2'de gösterilmiştir. Burada iki-parametrelili Weibull dağılımının rüzgar hızı verilerinin olasılık ve kümülatif olasılık yoğunluk fonksiyonlarına daha iyi uyum sağladığı görülmektedir. Özellikle Rayleigh dağılım fonksiyonu da verinin sık görüldüğü olasılıklardaki aşım noktalarını modellemede başarılı olduğu görülebilir.



Şekil 2. Nisan 2016 yılı örnek rüzgar hızı analiz sonuçları

4. SONUÇ

Rüzgar hızı modellemesi için literatürde bir çok farklı metot kullanılmıştır. Ters Weibull dağılımı da mevsimsel rüzgar hızı modellemesi için literatürde yeni önerilen fonksiyonlardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada Ekim 2015- Eylül 2016 yıllarına ait 10 m yükseklikte saatlik olarak ölçülen rüzgar hızı verileri Devlet Meteoroloji İşleri Müdürlüğü'nün Keban Meteoroloji istasyonundan sağlanarak bölgenin rüzgar hızlarının esme saatlerinin iki-parametrelili Weibull, Ters Weibull ve Rayleigh fonksiyonlarına uyumu araştırılmıştır. Bu uyum araştırılırken dağılım fonksiyonlarının şekil ve ölçek

parametreleri en yüksek olabilirlik yöntemleri ile iki farklı metotta Matlab yazılım ortamında hesaplanmıştır.

Yapılan analizler sonucunda gerek aylık gerekse mevsimsel analizlerde iki-parametrelili Weibull dağılımının hata performans kriterinin en az olduğu gözlemlenmiştir. Ters Weibull dağılım fonksiyonunun ise sadece kış ve ilkbahar mevsimleri hariç diğer tüm analizlerde performans hata kriterlerinin diğer metotlara göre yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmaların sürdürülerek ölçümlerin farklı bölgelerde ve yüksekliklerde uzun dönemli alınarak tüm bölgenin detaylı araştırılması, bölge özelliklerinin çıkarılması ve maliyet analizi yapılması sonucunda daha doğru ve kesin değerlendirmeler yapılabileceği açıktır. Bölgemizin yenilenebilir enerji potansiyelinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi konusunda tarafımızca yapılan çalışmalar devam edecektir. Ülkemizde bu tür enerji kaynaklarına yönelimi hızlandıracak benzer çalışmaların yapılması ve üretime katılması geleceğimiz için büyük önem taşımaktadır.

REFERANSLAR

- [1] Saleh, H., A. Abou El-Azm Aly, and S. Abdel-Hady. "Assessment of different methods used to estimate Weibull distribution parameters for wind speed in Zafarana wind farm, Suez Gulf, Egypt." *Energy* 44.1 (2012): 710-719.
- [2] Garcia A, Torres J L, Prieto E, Francisco A D. Fitting wind speed distributions:a case study.*Sol Energy* 1998; 62 (2): 139-44.
- [3] Luna R E ,Church H W. Estimation of long-term concentrations using a universal wind speed distribution.*J Appl Meteorol* 1974; 13: 910-6.
- [4] Justus C G, Hargraves W R,Yalcin A. Nation wide assessment of potential output from wind powered generators.*J Appl Meteorol* 1976;15:673-8.
- [5] Kiss P, JanosiI M. Comprehensive empirical analysis of ERA-40 surface wind speed distribution over Europe. *Energy Convers Manage* 2008; 49(8): 2142-51.
- [6] Bardsley W E. Note on the use of the inverse Gaussian distribution for wind energy applications. *J Appl Meteorol* 1980;19:1126-30.
- [7] Vogel R M, Mcmahon T A, Chiew F H S. Flood flow frequency model selectionin Australia. *J Hydrol* 1993;146(1-4):421-49.
- [8] Guttman N B, Hosking J R M, Wallis J R. Regional precipitation quantile values for the continental United States computed from L-moments .*J Clim* 1993;6 (12):2326-40.
- [9] Stedinger J R. Fitting log normal-distributions to hydrologic data. *Water Resour Res* 1980;16(3):481-90.
- [10] Kaminsky F C. Four probability densities (log-normal, gamma, Weibull, and Rayleigh) and their application to modelling average hourly wind speed. *Proc Int Sol Energy Soc* 1977; 19:6-10.
- [11] Sherlock R H. Analyzing winds for frequency and duration. *Meteorol Monogr* 1951;1:42-9.
- [12] Morgan E C ,Lackner M, Vogel R M , Baise L G. Probability distributions for offshore wind speeds. *Energy Convers Manage* 2011;52:15-26.
- [13] Takle E S, Brown J M. Note on the use of Weibull statistic stocharacterise wind- speed data. *J Appl Meteorol* 1978; 17:556-9.
- [14] Jaramillo O A, Borja M A. Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: a bi modal probability distribution case. *Renewable Energy* 2004; 29:1613-30.
- [15] Rosen K, Buskirk Van R, Garbesi K. Wind energy potential of coastal Eritrea: ananalysis of sparse wind data. *Sol Energy*1999; 66:201-13.
- [16] Carta J A, Ramirez P, Velazquez S. A review of wind speed probabality distributions used in wind energy analysis case studies in the Canary Islands. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2009; 13(5):933-55.
- [17] Auwera V, Meyer L F, Malet L M. Theuse of the Weibull three parameter model forestimating mean wind power densities. *J Appl Meteorol* 1980; 19:819-25.
- [18] Stevens M J, Smulders P T. The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes. *Wind Eng* 1979;3(2):132-45.
- [19] Akgül, Fatma Gül, Birdal Şenoğlu, and Talha Arslan. "An alternative distribution to Weibull for modeling the wind speed data: Inverse Weibull distribution." *Energy Conversion and Management* 114 (2016): 234-240.
- [20] Justus C G, Hargraves W R, Mikhail A, Graber D. Methods for estimating wind speed frequency distributions. *J Appl Meteorol* 1978;17:350-3.
- [21] Akdag S A, Dinler A. A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Energy Convers Manage* 2009; 50:1761-6.
- [22] Lysen E H. Introduction to wind energy. The Netherlands: SWD Publication SWD 82-1; 1983.
- [23] Carneiro T C, Melo S P, Carvalho P C, Braga A P D S. Particle Swarm Optimization method for estimation of Weibull parameters: A case study for the Brazilian northeast region. *Renewable Energy* 2016; 86:751-759.

Yazar İletişimleri

¹Emrah Dokur, Arş.Gör, Bilecik Şeyh Edebalü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü, +90228 214 14 18, emrah.dokur@bilecik.edu.tr

²Salim CEYHAN, Yrd.Doç.Dr., Bilecik Şeyh Edebalü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, +90228 214 17 21, salim.ceyhan@bilecik.edu.tr

³Mehmet KURBAN, Prof.Dr., Bilecik Şeyh Edebalü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik -Elektronik Mühendisliği Bölümü, +90228 214 15 49, mehmet.kurban@bilecik.edu.tr

Sorumlu Yazar

** Emrah Dokur, Arş.Gör, Bilecik Şeyh Edebalı
Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Elektrik -Elektronik
Mühendisliği Bölümü, +90228 214 14 18,
emrah.dokur@bilecik.edu.tr*

İki Farklı Çözeltide Anodik Oksidasyon Uygulanmış Ti6Al4V Alaşımının Elektrokimyasal Korozyon Davranışının İncelenmesi

Yusuf Kayal^{1,*}, Şükrü Talaş², CeylanTaşkın³,

Özet: Bu çalışmada, Ø16 mm çapında ve 6 mm kalınlığında Ti6Al4V alaşımı (Grade 5) numune kullanılmıştır. Yüzeyleri metalografik olarak hazırlanan numuneler ultrasonik banyoda alkol ile temizlenerek yüzey işlemine uygun hale getirilmişlerdir. Anodik oksidasyon işlemi için elektrolit olarak 0,15 M Hidroflorik asit ve %0.3 NH₄F ve %2 H₂O içeren Etilen Glikol çözeltileri kullanılmış ve işlemler 2 farklı voltaj seviyesi (20 V ve 120 V) ve 60 dakika oksidasyon süresinde gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal korozyon deneyleri SBF (simule Body Fluid) çözeltisinde 1 saat bekleme süresinde gerçekleştirilmiştir. Anodik oksidasyon işlemi uygulanan numunelerin yüzeyinin korozyon özelliklerinin belirlenmesi için Potansiyostat, X-ışınları ve Taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu Ti6Al4V alaşım yüzeyinde Etilen Glikol (EG) çözeltisinde nano tüp formunda oksitlerin, 0,15 M Hidroflorik asit (HF) çözeltisinde ise gözenekli oksitlerin oluştuğu gözlenmiştir. Elektrokimyasal deneyler sonucunda, uygulanan voltajın artmasıyla, SBF çözeltisinde numunelerin korozyon direncinin azaldığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ti6Al4V alaşımı, Anodik oksidasyon, SBF, Elektrokimyasal korozyon

1 GİRİŞ

Titanyum ve alaşımlarının diğer metalik malzemelerle kıyaslandığında düşük ağırlık gibi mekanik özellikleri, yüksek biyotolerans ve yüksek korozyon direncinden dolayı özellikle sağlık sektörünün diş ve ortopedik alanlarında sıkça kullanılmaktadır [1]. Atmosfere maruz bırakıldığında Ti yüzeyinde ince, yoğun, koruyucu bir oksit tabakası (1,5-10nm kalınlıkta özellikle TiO₂) oluşur. Bu, mükemmel anti-korozif ve biyoyumluluk özelliklerini üretir. Bununla birlikte, titanyum ve alaşımları kötü osteoindüktif özelliklere sahiptir [1,2]. Sonuç olarak, ti ve alaşımlarının biyoyumluluklarını optimize etmek için son on yılda birçok çalışmalar yapılmıştır [3-5].

Biyomalzeme olarak kullanılan titanyumun biyoyumluluğunu arttırmaya yönelik ihtiyacı karşılamak üzere, plazma sprej, sol-jel, Anodik plazma kimyasal işlem ve potansiyostatik anodik oksidasyon yöntemleri son yıllarda uygulanmaktadır [2]. Anodik oksidasyon işlemi, oluşturulan elektrik alanla birlikte metal ve oksijen iyonlarının difüzyonu yöntemiyle yüzeyinin kaplanması istenilen metalin anot tarafına yerleştirilmesiyle yüzeyde oksit filminin oluştuğu elektroliz reaksiyonlarına denir [6-8]. Titanyumun anodik oksidasyon işlemiyle yüzeyde oluşturulan oksit filmi malzemenin aşınma direncini, korozyon direncini, yüzey pürüzlülüğünü ve biyoyumluluğu artırıcı bir rol oynamaktadır[8].

Bu çalışmada, Etilen Glikol ve 0.15 M Hidroflorik asit çözeltileri içinde anodik oksidasyon işlemi yapılan titanyum alaşımının SBF çözelti içerisindeki elektrokimyasal yöntemle korozyon davranışları incelenmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

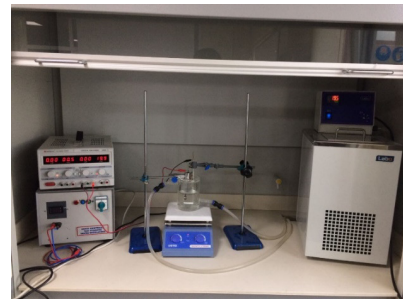
2.1. Malzeme ve Anodik Oksidasyon İşlemi

Bu çalışmada, kimyasal kompozisyonu **Tablo 1**'de verilen Ti6Al4V (Grade2) kullanılmıştır. Yüzey işlemlerinden önce Ø10 mm çapında, 15 mm kalınlığında işlenen deney numuneleri 600, 800, 1000 ve 1200 mesh SiC zımparalar ile kaba parlatmaya tabi tutulmuş ve yüzey alkolle kurutulmuştur.

Tablo 1. Ti6Al4V alaşımının (%) kimyasal bileşimleri

Taban Malzeme	Ti	Al	V	Fe	Ni	Si	Mn
Ti6Al4V	9,5	,2	,2	,14	,04	,02	,01

Anodizasyon işlemi **Şekil 1**'de şematik olarak gösterilen, laboratuvar şartlarında üretilen anodizasyon hücresinde gerçekleştirilmiştir. Anodizasyon sistemi; soğutma banyosu ve soğutma banyosuna plastik borularla bağlanmış, içinde soğutma suyunun dolaştığı 1000 ml lik bir cam beher kullanılmaktadır. Mervesan tarafından üretilmiş 305DII serisi 0-30V/0-5A doğru akım güç kaynağı ve manyetik karıştırıcıdan meydana gelmektedir. Anodik oksidasyon işlemi için elektrolit olarak 0,15 M Hidroflorik asit ve %0.3 NH₄F+%2 H₂O içeren Etilen Glikol çözeltileri kullanılmış ve işlemler 2 farklı voltaj seviyesi (20 V ve 120 V) ve 60 dakika oksidasyon süresinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1: Anodik oksidasyon prosesi.

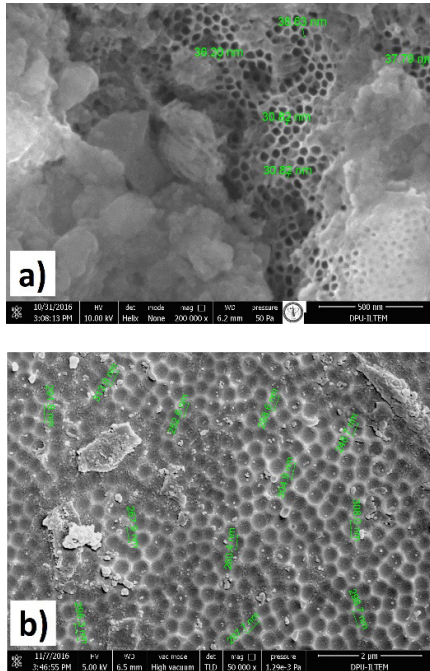
2.2 Elektrokimyasal Korozyon Testleri

EG ve HF asit çözeltilerinde 2 farklı voltaj seviyesi (20 V ve 120 V) ve 60 dakika anodik oksidasyon işlemi yapılmış olan titanyum alaşımlarının Elektrokimyasal korozyon deneyleri SBF, elektrokimyasal korozyon deneyleri Gamry reference 600 potansiyostat/galvanostat ZRA ve echem analyst soft programı ile gerçekleştirilmiştir. Elektrokimyasal korozyon deneylerine başlamadan önce 35 °C'de 15 dk Aseton, 15 dk Etanol ve 15 dk çift distile edilmiş su ile ultrasonik olarak temizlenerek 40 °C'de Etüv de bekletilerek kurutulmuştur. Elde edilen akım yoğunluğu-potansiyel eğrilerinden, korozyon hızı, polarizasyon direnci (R_p), korozyon akımı (I_{cor}), korozyon hızı değerleri tespit edilmiştir. Daha sonra korozyon akımının yüzey alanına bölünerek korozyon akım yoğunluğu (i_{corr}) bulunmuştur.

3. DENEYSEL SONUÇLAR

3.1. Kaplama Tabakası ve Mikroyapı

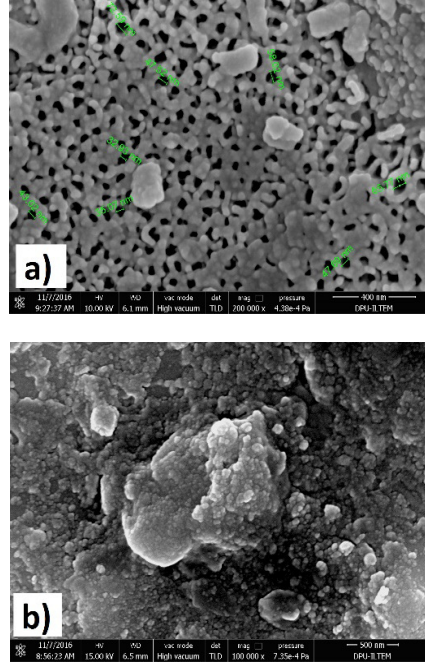
Anodik oksidasyon işleminden sonra yapılan taramalı elektron mikroskobu görüntülerini incelendiğinde 60dk sabit sürede ve 20-120V farklı voltajlarda elde edilen görüntülerde görüldüğü üzere voltaja bağlı olarak değişkenlerin olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2: Etilen Glikol çözeltisinde a) 20 V, b) 120 V da 60 dk. süreyle anodik oksidasyon uygulanmış numunenin yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.

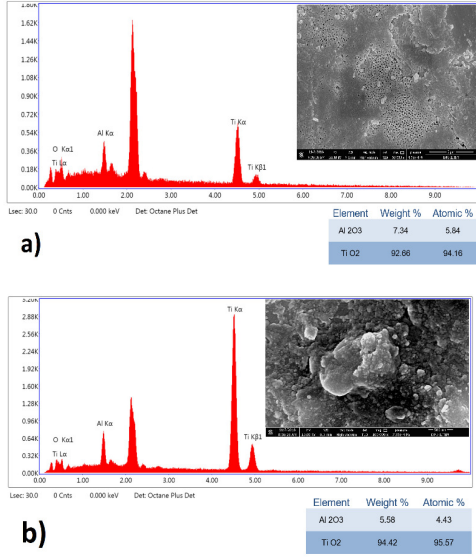
Anodik oksidasyon işleminde çözelti olarak kullanılan Etilen Glikol elektrolitinde yapılan deneylerde nano tüplerin oluştuğu gözlenmektedir. Oluşan nano tüplerin sabit sürede ve farklı voltajda değişimi **Şekil 2**'de elde edilen görüntülerde

gözlenmektedir. Görüntülerde 20 V'da oluşan nano tüplerin ortalama çapları 34,85 nm olduğu ve 120 V'da ise çapların 285,4 nm boyutlarındadır. Etilen Glikol çözeltisinde sürenin sabit tutulduğunda ve 120 voltun nano tüp çaplarının 20 voltun nano tüp çaplarına göre büyük oradan büyüdüğü görülmektedir.



Şekil 3: % Hidroflorik asit çözeltisinde a) 20 V, b) 120 V da 60 dk. süreyle anodik oksidasyon uygulanmış numunenin yüzeyinin taramalı elektron mikroskobu görüntüsü.

0.15M Hidroflorik asit çözeltisinde yapılan deneylerde sabit sürede ve farklı voltajlardaki görüntüler **Şekil 3** de görülmektedir. Yapılan deneyde 20 voltta nano tüplerin oluştuğu ve nano tüp boyutlarının yaklaşık 47,14 nm büyüklüğünde olduğu görülmektedir. 20 volt ve 120 volt kıyaslandığında nano tüplerin 20 voltta oluştuğu fakat 120 voltta nano tüplerin bozulduğu görülmektedir. **Şekil 4** de 0.15M Hidroflorik asit çözeltisinde yapılan deneylerin EDX sonuçları görülmektedir. Yapılan analizde 120 volt uygulanan numunede TiO_2 tabakasının 20 volta göre daha kalın olduğu görülmektedir. Yapılan analizde voltaj arttığında nano tüplerin bozulduğu ve TiO_2 tabakası oluştuğu görülmüştür [9, 10].



Şekil 4: % Hidroflorik asit çözeltisinde a) 20 V, b) 120 V da 60 dk. süreyle anodik oksidasyon uygulanmış numunelerin EDX analizi.

3.2 Elektrokimyasal Korozyon

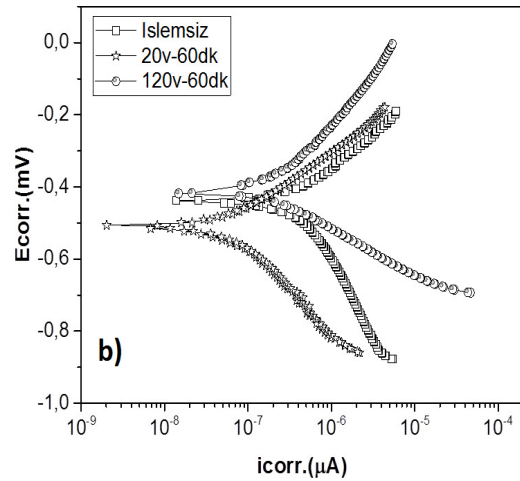
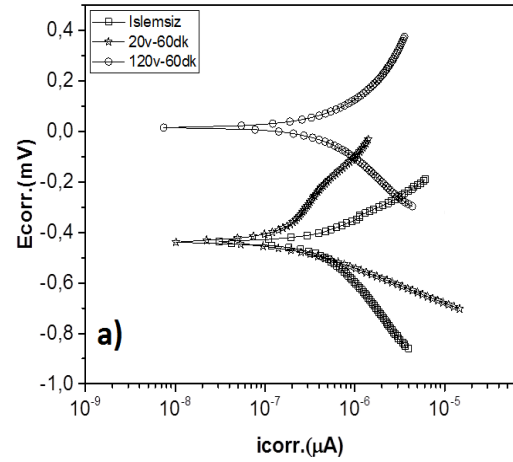
Şekil 5, SBF elektrolit içindeki her numunenin potansiyodinamik polarizasyon eğrisi analizlerinin sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 2, SBF elektrolit içindeki her numuneden elde edilen korozyon parametrelerini göstermektedir. Her iki çözelti için de korozyon direnci bütün anodizasyon şartlarında işlemsiz numuneye göre iyileşmiştir. artmıştır. Korozyon dirençleri doğrudan oksit tabakasının yapısı ile ilişkilidir. Etilen Glikol çözeltisi ve 0.15M Hidroflorik asit çözeltilerin de 20V potansiyele kadar anodize edilmiş numuneler daha soy duruma doğru yaklaşıırken, 120V potansiyelde anodize edilmiş numuneler de yüzeyinde oluşan gözenekli tabakadan dolayı korozyon direnci daha kötüdür. Çünkü potansiyel artışı ile beraber yüzeyde gözenek miktarı artmaktadır [8].

Her bir numunenin I_{corr} ve R_p değerleri, sırasıyla, 0.165 ila 1.460 $\mu A / cm^2$ ve 105.7-577.4 $k\Omega$ arasında değişmektedir. Genel olarak, her iki çözeeltide de işlemsiz numuneye göre, iyi bir korozyon direnci göstermiştir. En yüksek korozyon direnci Etilen Glikol çözeltisinde 20 V da yapılan anodizasyon işleminde elde edilmiştir. Ayrıca her iki çözeltide de anodizasyon voltajı arttıkça (20 V'dan 120 V'a) korozyon direnci düşmektedir. Anodizasyon yapılmış numuneler arasında en yüksek I_{corr} değeri 0.921 $\mu A/cm^2$ değerle Etilen Glikol çözeltisinde 120 V da anodizasyon işleminde elde edilmiştir. En yüksek korozyon hızı 407.5×10^{-3} mpy ile işlemsiz numunede elde edilirken, En düşük korozyon hızı 46.04×10^{-3} mpy değeri ile Etilen Glikol çözeltisinde 20 V da yapılan anodizasyon numunesinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar hem korozyon akım yoğunluğu değeri (I_{corr}), hem de korozyon direnci (R_p) ile uyumludur.

Tablo 2. Titanium alaşımının Elektrokimyasal Deneş Sonuçları

Korozyonun Yapıldığı Çözelti	Anodizasyonun Yapıldığı Çözelti	Deneş Metodu	i_{corr} . ($\mu A/cm^2$)	Corrosion Rate $\times 10^{-3}$ (mpy)	R_p ($k\Omega$)
SBF	İşlemsiz	20 V	1,460	407,5	105,7
		120V	0,165	46,04	205,8
		120V	0,921	256,1	118,7
	0.15M Hidroflorik asit	20 V	0,191	53,02	577,4
		120 V	0,204	56,62	126,1



Şekil 5: a) Etilen Glikol, b) 0.15 M Hidroflorik asit çözeltilerinde anodizasyon yapılmış numunelerinin Tafel ekstrapolarizasyon eğrileri.

4. SONUÇLAR

Bir Ti alaşımının yüzeyinde iki farklı çözeltide yapılan anodik oksidasyon işlemi ile farklı voltajlarda TiO_2 nanotüpleri oluşturuldu. Anodizasyon voltajının artışı ile Etilen glikol çözeltilerinde nano tüplerin çapları artmıştır. Fakat 0.15 M Hidroflorik asit içerisinde ise

voltajın artmasıyla nano tüpler bozulmuştur. Anodizasyon voltajının artmasıyla Nano tüp morfolojisi bozulmaktadır.

Korozyon direnci işlemsiz numuneye göre bütün anodize edilmiş numunelerde artmıştır. En iyi korozyon direnci Etilen Glikol çözeltisinde 20 V yapılan anodizasyon işleminde elde edilirken, en kötü korozyon direnci ise Etilen Glikol çözeltisinde 120 V yapılan

5. KAYNAKLAR

- [1] Madhav Prasad Neupane, Song Park, Tae Sung Bae, Min Ho Lee, Sonochemical assisted synthesis of nano-structured titanium oxide by anodic oxidation, *Journal of Alloys and Compounds*, Vol.581 (2013) 418-422.
- [2] Neide K. Kuromoto, Renata A. Simão, Gloria A. Soar “Titanium oxide films produced on commercially pure titanium by anodic oxidation with different voltages” *Materials Characterization*, Vol. 58, Issue 2, February 2007, Pages 114-12.
- [3] M. Karlsson, Nano-porous alumina, a potential bone implant coating, BMC, Husargatan 3, Uppsala, 2004, B-42.
- [4] D.F. Williams, Definitions in Biomaterials, in: Proceedings of a consensus conference of the European society for biomaterials, March 1986, Chester, England, 1987, p. 3.
- [5] B.D. Ratner, A Perspective on Titanium Biocompatibility, in: D.M. Brunette, P. Tengvall, M. Textor, P. Thomsen (Eds.), *Titanium in Medicine*, Springer, Berlin, 2001, p. 2.
- [6] Özgür SİCAKYÜZ, Titanyum ve Titanyum alaşımlarının Anodik Oksidasyon Davranışı ve Karakterizasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, 2007.
- [7] Zwilling, V., Aucouturier, M., and Darque-Ceretti, E., 1999, Anodic oxidation of titanium and Ti6Al4V alloy in chromic media. An electrochemical approach, *Electrochimica Acta*, 41, 921-929
- [8] Çiğdem Albayrak, CP-Titanyumun Anodizasyonu, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, 2008.
- [9] Levent Özcan, Pınar Yalçın, Oguzhan Alagöz, Sedat Yurdakal, Selective photoelectrocatalytic oxidation of 5-(hydroxymethyl)-2-furaldehyde in water by using Pt loaded nanotube structure of TiO₂ on Ti photoanodes, *Catalysis Today* 281 (2017) 205-213.
- [10] Timur ÖZTURK, Production and Characterization of TiO₂ Nanotubes on Cp-Titanium surface, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, 2012.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya 15.FEN.BİL.03 nolu projeyi destekleyen Afyon Kocatepe Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonuna teşekkür ederiz.

Authors addresses

¹Yusuf Kayalı, Yrd.Doç.Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, ANS Kampüsü, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, ykayali@aku.edu.tr

²Şükrü Talaş, Prof. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, ANS Kampüsü, stalas@aku.edu.tr

³Ceylan Taşkın, Mr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, ANS Kampüsü, ceylantaskin@gmail.com

Contact person

*Yusuf Kayalı, Yrd.Doç.Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, ANS Kampüsü, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, ykayali@aku.edu.tr

HTEA temelli risk değerlendirme: İnşaat sektöründe bir uygulama

Burak Efe^{1,}, Mustafa Kurt²*

Abstract: İş güvenliği son zamanlarda önemi artan bir konu olmaya başlamıştır. Bu tez kapsamında iş güvenliğinin önemli bir konusu olan risk değerlendirme üzerinde durulmuştur. Bu proje bir inşaat firması için iş sağlığı ve güvenliği politikası kurmayı amaçlamaktadır. Uygulama alanı olarak inşaat sektörü belirlenmiştir. İnşaat sektörü için bina yapımında demir işleriyle ilgili riskler belirlenmiştir. Risk değerlendirme için hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) yöntemi incelenmiştir. Bu çalışmada doğrusal programlama ve bulanık çok kriterli karar verme metotları, üretim ve hizmet sistemlerindeki muhtemel hataları belirlemek ve ortadan kaldırmak için yaygın olarak kullanılan geleneksel HTEA'nın eksikliklerinin üstesinden gelmek amacıyla HTEA'ya uygulanır. Geleneksel HTEA'da olasılık, şiddet, ve saptanabilirlik risk faktörlerinin değerleri çarpılarak elde edilen risk öncelik sayısı metodu birçok eksikliğinden dolayı literatürde eleştirilmektedir. İnşaat sektöründe demir işleriyle ilgili riskleri değerlendirmek için TOPSIS metodunun genişletilmiş olarak olabilirlik derecesi ve ağırlıklı geometrik Bonferroni ortalama operatörü temelli aralık tip-2 bulanık sayılı (AT2BS) TOPSIS metodunu önerilmiştir. Bu çalışma bir karşılaştırma indeksi belirlemek için mevcut TOPSIS'deki mesafe ölçümleri yerine olabilirlik ortalama ve olabilirlik derecelerini kullanmaktadır. TOPSIS metodundaki kesin sayılara karşın bulanık TOPSIS metodunun faydası alternatifleri değerlendirmek için bulanık sayıları ele almaktır. Tip-1 bulanık sayılar, bulanık sayıları ifade etmek için kesin üyelik derecelerini incelemektedir. Fakat AT2BS, tip-1 bulanık sayılarından daha fazla belirsizliği ele almaktadır. AT2BS gerçek hayat uygulamalarında belirsizliği ve bulanıklığı anlatmak için ilave bilgiyi bize sağlamaktadır. Önerilen yaklaşımların ve diğer metotların sonuçları karşılaştırılmıştır. Matematiksel programlama firmanın kaynaklarını ve hedeflerini optimize etmek için kullanılır.

Anahtar Kelimeler: TOPSIS, çok kriterli karar verme, HTEA, risk

1 GİRİŞ

Hata türleri ve etkileri analizi (HTEA) ilk olarak 1960'larda havacılık endüstrisinde tasarım metodolojisi olarak geliştirilmiştir (Bowles ve Pelaez, 1995). HTEA, potansiyel tehlikeleri değerlendiren ve onları meydana gelmeden önleyen faydalı ve güçlü bir araçtır (Sankar ve Prabhu, 2001). HTEA imalat ve hizmet sistemlerindeki potansiyel hataları elimine etmek, tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir risk değerlendirme yöntemidir. Hata türü, tasarım amacını gerçekleştirirken parçada, alt sistemde, sistemde, süreçte vb. potansiyel olarak hatanın olabileceği durumlar olarak tanımlanmaktadır. Bir parçadaki hata türü başka bir parçada hata türünün sebebi olabilir (Wang vd., 2009). FMEA'nın diğer risk değerlendirme araçlarından farkı, hata olduktan sonra bir çözüm bulmak yerine sistemin önceden tespit edilmesiyle bağlantılı olarak problemlerin yok edilmesidir. Bu durum karar vericilere mevcut programları düzeltmeye, hataların olabilirliğini azaltmak için önerilen faaliyetleri gerçekleştirmeye ve tehlikeli kazalardan sakınmaya yardım etmektedir. Günümüzde, HTEA havacılık, otomotiv, nükleer, elektronik, kimya ve tıp teknolojilerini kapsayan endüstrinin birçok alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (Liu vd., 2012).

Bir sistem, tasarım, süreç veya hizmet genellikle çok hata türü ve etkisine sahiptir. Bu durumda, her bir hata türü ve etkisini risk değerlerine göre önceliklendirmek ve değerlendirmek gerekmektedir. Yüksek riskli (veya en tehlikeli) hata türü en öncelikli olarak düzeltilmelidir. Geleneksel HTEA risk öncelik sayısı (RÖS) metodunu kullanarak hata türlerinin risk önceliklerini belirlemektedir.

Geleneksel HTEA bir hatanın meydana gelme olasılığının (O), şiddetinin (S) ve saptanabilirliğinin (D)

çarpımı olan RÖS ile hata türlerinin risk önceliklerini belirler.

$$RÖS = O \times S \times D \quad (1)$$

Genellikle, daha yüksek RÖS'lü hata türlerinin daha önemli olduğu ve düzeltme için daha yüksek öncelik verileceği varsayılmaktadır.

HTEA sistem, tasarım, süreç veya hizmetteki gerçekleştirilecek hataları önceden önleyebilen en önemli erken önleyici faaliyetlerden biridir. Maalesef, geleneksel HTEA gerçek hayat problemlerinde uygulandığında kesin RÖS metodu bazı önemli eksiklikler göstermektedir.

(Liu vd., 2012; Sankar ve Prabhu, 2001; Wang vd., 2009; Sharma vd., 2005). Eleştirilerden bazıları aşağıda gösterilmektedir :

- O, S, D arasındaki önem dereceleri dikkate alınmaz. Üç faktörün eşit önem derecesine sahip olduğu kabul edilir. Bu gerçek hayat problemlerine HTEA'nın uygulamasında hatalı sonuçlar verebilir.

- O, S, D'nin farklı değerleri RÖS'ün aynı değerini tam olarak verebilir fakat onların gizli riskleri toplam olarak farklı olabilir. Örneğin 2 farklı durum için O, S, D sırasıyla 2, 3, 2 ve 4, 1, 3 ise RÖS değeri aynı ve 12'dir. Bu durum kaynak ve zaman israfına veya daha yüksek riskli hata türünün belirlenememesine sebep olabilir.

- Üç faktörü kesin olarak değerlendirmek çok zordur. HTEA'da birçok bilgi genellikle belirsiz ve dilsel olarak önemli, çok yüksek vb. ifadelerle açıklanır.

Yukarıdaki eksikliklerin üstesinden gelmek için Tablo 1'de görüldüğü gibi literatürde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. HTEA literatüründe en popüler kullanılan yöntemler bulanık kural temelli sistem, gri teori, maliyet

temelli sistem, AHP/ANP ve doğrusal programlamadır
(Liu vd., 2013).

Tablo 1. HTEA ile ilgili çalışmalar

Yaklaşımlar	Çalışmalar
Bulanık VIKOR	Liu vd. (2012)
AHP, ANP	Sachdeva vd. (2008), Carmignani (2009), Zammori and Gabrielli (2011)
Bulanık TOPSIS	Song vd. (2013)
Kanıt Teorisi	Yang vd. (2011)
Gri teori	Tan ve Du (2013), Sharma ve Sharma (2012), Geum vd. (2011)
DEMATEL	Seyed-Hosseini vd. (2006), Chang vd. (2013b)
Sezgisel bulanık küme sıralama tekniği	Chang vd. (2010a)
Bulanık AHP-Bulanık kural temelli sistem	Abdelgawad ve Fayek (2010)
Sezgisel bulanık küme- DEMATEL	Chang ve Cheng (2010b)
Bulanık OWA operatörü-DEMATEL	Chang ve Cheng (2011)
Bulanık AHP- Bulanık TOPSIS	Kutlu ve Ekmekçioğlu (2012)
Sezgisel bulanık küme- TOPSIS	Liu vd. (2015a)
İnanç yapısı- TOPSIS	Vahdani vd. (2015)
Bulanık AHP- Entropi-Bulanık VIKOR	Liu vd. (2015b)
Bulanık mantık- MULTIMOORA	Liu vd. (2014a)
Gri ilişkisel analiz - DEMATEL	Chang vd. (2013a)
OWGA- GMO	Menteş ve Özen (2015)

Literatürde geleneksel HTEA'nın eksiklikleri ortadan kaldırılırken bulanık mantık yaklaşımından faydalanılmıştır. Karar vericiler görüşlerini dilsel olarak ifade etmeleri kolay olacağı için bulanık mantık kullanılmıştır. Fakat bulanık mantık kullanan yöntemlerin bazı eksiklikleri vardır:

- Bulanık sayı olarak ifade edilen hata türlerini sıralamak için durulaştırma yöntemi kullanılır. Durulaştırma sonucu elde edilen değer gerçek hayat uygulamalarında doğru olmayabilir. Bu durum olasılık dağılımları için sadece ortalama değere göre sıralamaya benzemektedir.

- Hata türlerini değerlendirmek için Tip 1 bulanık sayıları kullanılmaktadır. Tip 1 bulanık sayılar belirsizliği ifade etmede bazı eksikliklere sahiptir. Bulanık sayının belirsizliğini incelemek için bu çalışmada Aralık Tip 2 bulanık sayı kullanılacaktır. Ayrıca HTEA ile ilgili tekstil sektörü uygulamasında sezgisel bulanık sayı kullanılmıştır.

2 İNŞAATTA RİSK DEĞERLENDİRME

Bu çalışma kapsamında ilk olarak yapılacak HTEA temelli risk değerlendirmesi inşaat sektöründe bir firma için uygulanmıştır. İnşaat firmasındaki demir işleriyle ilgili HTEA Tablo 2'de gösterilmiştir. Bu çalışma TOPSIS metodunun genişletilmiş olarak olabilirlik derecesi ve ağırlıklı geometrik Bonferroni ortalama operatörü temelli aralık tip-2 bulanık sayılı (AT2BS) TOPSIS metodunu önermiştir. Ye ve Li (2014) üçgensel bulanık sayılar kullanarak olabilirlik teorisi temelli

genişletilmiş TOPSIS yöntemini sunmuşlardır. Chen ve Lee (2010a) ve Chen ve Hong (2014) tip-1 bulanık sayıların eksikliklerinin üstesinden gelmek için sıralama metotlu AT2BS TOPSIS yöntemini incelemişlerdir. Chen (2015) olabilirlik temelli AT2BS'li TOPSIS yöntemini incelemişlerdir.

TOPSIS metodundaki kesin sayılara karşın bulanık TOPSIS metodunun faydası alternatifleri değerlendirmek için bulanık sayıları ele almaktır. Tip-1 bulanık sayılar, bulanık sayıları ifade etmek için kesin üyelik derecelerini incelemektedir. Fakat AT2BS, tip-1 bulanık sayılarından daha fazla belirsizliği ele almaktadır. AT2BS gerçek hayat uygulamalarında belirsizliği ve bulanıklığı anlatmak için ilave bilgiyi bize sağlamaktadır. Bu çalışma karmaşık problemlerdeki özel fikirlerin daha fazla belirsizliğini modellemek için AT2BS kullanarak TOPSIS metodunu genişletmeyi amaçlamaktadır. Bu çalışmanın amacı olabilirlik ortalama değeri ve olabilirlik derecesi temelli yeni bir AT2BS TOPSIS metodunu sunmaktır. Bu çalışma alternatifleri değerlendirmek için aralık tip-2 yamuksal bulanık sayılı yaklaşık pozitif ve negatif ideal çözümleri kullanmaktadır. Bu çalışma bir karşılaştırma indeksi belirlemek için mevcut TOPSIS'deki mesafe ölçümleri yerine olabilirlik ortalama ve olabilirlik derecelerini kullanmaktadır. Her bir alternatifin olabilirlik derecesi temelli yakınlık katsayısı yaklaşık pozitif ve negatif ideal çözümlere göre hesaplanmıştır. Bu çalışma ayrıca kriterlerin önem derecelerini ve kriterler temelli alternatifleri belirlemede karar vericilerin özel fikirlerini birleştirmek için aralık tip-2 bulanık ağırlıklı

Bonferroni ortalama operatörünü kullanmaktadır. Bu çalışmanın diğer bir faydası geleneksel HTEA'nın eksikliklerinin üstesinden gelmektir. Geleneksel HTEA'da O, Ş, ve S gibi risk faktörlerinin değerleri çarpılarak elde edilen RÖS metodu birçok eksikliğinden dolayı literatürde eleştirilmektedir. Bu çalışmada ilk olarak bu risk faktörlerinin ağırlıklarını belirlemek için aralık tip-2 bulanık ağırlıklı Bonferroni ortalama operatörü kullanılarak karar vericilerin öznel görüşleri birleştirilmiştir. Bu ağırlıklar riskleri sıralamak için TOPSIS metodunda kullanılmıştır. Önerilen model bir inşaat yapımındaki demir işleriyle ilgili riskleri değerlendirmek için uygulanmıştır.

3 UYGULAMA

Risk değerlendirme süreci; risk değerlendirmeyi yapacak karar vericilerin belirlenmesi, hata türlerinin

belirlenmesi, değerlendirme aşamasında incelenen O,Ş, ve S risk faktörlerini belirleme, risk faktörlerini ağırlıklandırma ve hata türlerinin değerlendirilmesi aşamalarından oluşmaktadır. Bina yapımındaki gerçek bir uygulama önerilen yaklaşımın etkinliğini göstermek için sunulmuştur. Firma yöneticileri iş sağlığı ve güvenliği açısından bina yapımındaki demir işleriyle ilgili hata türlerini elemek istemektedirler. Bu yüzden iş sağlığı ve güvenliği alanında uzman olan beş kişilik bir uzman komitesi atanmıştır. İlk elemeyen sonra onbir hata türü ileri değerlendirme için analiz edilmiştir. E1, E2, E3, E4, ve E5 olan beş kişilik bir uzman ekip bir bina yapımı için demir işleriyle ilgili en yüksek riskli hata türünü belirlemek amacıyla bir ankete cevap vermişlerdir. Bu hata türleri uzman görüşleri ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak belirlenmiş olup Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Demir işleriyle ilgili hata türleri

HT1	Bağ telinin ele batması
HT2	Demirlerin uygun istiflenmemesi
HT3	Temele indirilen demir yüklerinin tek bir noktaya indirilmesi
HT4	Temel demir imalatının hep aynı yönde yapılması
HT5	Yük indiren vinç operatörünün yükü hızlı şekilde vurdurarak indirmesi
HT6	İşçinin talimatlara uymaması
HT7	Temel demir örme işinde sehparların demire her bağlanmasında bağ teli ile bağlanmaması
HT8	Beton içerisindeki demir parçalarının uç kısımlarının açıkta durması
HT9	Demir vb. ağır yüklerin elle taşınması
HT10	Demir bağının boğdurulmadan yalnızca bağ teli ile bağlanarak taşınması
HT11	Çelik hasır ve sehpa taşınırken eksik zincirle taşınması

Risk değerlendirmeyi etkileyen üç risk kriteri hata türünün olasılığı (O), hata türünün şiddeti (Ş) ve hata türünün saptanabilirliğidir (S). O ve Ş risk kriterleri maliyet kriterlerini, S risk kriteri ise fayda kriterini göstermektedir. Karar vericilerin önem dereceleri grup karar verme probleminde onların farklılıklarını göstermek için atanmıştır. E1, E2, E3, E4 ve E5 karar vericilerinin önem dereceleri sırasıyla (0.30, 0.20, 0.25, 0.15, 0.10) olarak belirlenmiştir. Karar vericiler kriterlerin önem derecelerini belirlerken öznel görüşlerini dilsel değişkenler yardımıyla ifade etmektedirler. Bu risk kriterlerinin ağırlıklarını belirlemek için karar vericilerin öznel görüşleri

YAT2AGBM operatörü kullanılarak birleştirilmektedir. AT2BS temelli TOPSIS aşaması kriterler temelli hata türlerini sıralamak için kullanılır ve risk değerlendirme süreci tamamlanır. Önerilen yaklaşım HTEA kullanılarak bir bina yapımındaki demir işleriyle ilgili riskleri değerlendirmek için uygulanmaktadır. Tablo 3'te gösterilen dilsel ölçek kullanılarak karar vericilerin öznel görüşleri kriterlerin önceliklerini elde etmek için ve hata türlerini değerlendirmek için kurulur. Beş karar verici Tablo 4'te gösterildiği gibi kriterlerin önem derecelerini kurmuştur. YAT2AGBM operatörü karar vericilerin önem dereceleri temelinde karar vericilerin öznel görüşlerini birleştirmek için kullanılır.

Tablo 3. AT2BS ve dilsel terimler arasındaki dönüşüm

Dilsel terim	Yamuksal AT2BS
Çok düşük (ÇD)	(0.08,0.11,0.15,0.18;0.8),(0.04,0.09,0.17,0.22;1)
Düşük (D)	(0.20,0.25,0.33,0.36;0.8),(0.17,0.22,0.38,0.43;1)
Orta (O)	(0.40,0.45,0.54,0.57;0.8),(0.30,0.40,0.60,0.66;1)
Yüksek (Y)	(0.77,0.80,0.86,0.90;0.8),(0.72,0.75,0.90,0.95;1)
Çok yüksek (ÇY)	(0.95,0.97,0.98,0.99;0.8),(0.92,0.96,0.99,1.00;1)

Tablo 4. Beş karar verici için kriterlerin önem dereceleri

Kriter	Karar verici				
	E1	E2	E3	E4	E5
O	O	Y	Y	O	Y
Ş	Y	ÇY	ÇY	Y	ÇY
S	O	O	O	Y	O

Tablo 5. Alternatifler için değerlendirme verisi

	E1			E2			E3			E4			E5		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃	C ₁	C ₂	C ₃
HT1	ÇY	O	D	ÇY	D	D	O	D	O	O	O	O	VD	Y	ÇY
HT2	Y	VD	ÇY	O	Y	ÇY	O	D	Y	D	D	O	O	Y	D
HT3	D	O	O	D	O	Y	O	O	Y	O	O	O	VD	O	ÇY
HT4	D	O	O	D	O	Y	D	O	Y	VD	VD	VD	VD	O	ÇY
HT5	Y	ÇY	VD	D	ÇY	Y	O	ÇY	ÇY	O	D	ÇY	O	Y	ÇY
HT6	ÇY	Y	Y	ÇY	Y	Y	O	Y	Y	O	O	Y	D	O	ÇY
HT7	O	O	O	ÇY	O	O	O	ÇY	Y	O	D	ÇY	VD	Y	ÇY
HT8	O	VD	O	O	Y	Y	D	Y	Y	Y	D	Y	VD	O	ÇY
HT9	Y	D	ÇY	Y	Y	O	O	O	Y	ÇY	O	ÇY	Y	O	ÇY
HT10	Y	Y	Y	O	Y	O	Y	Y	ÇY	Y	O	ÇY	Y	Y	ÇY
HT11	Y	Y	Y	O	Y	O	O	Y	Y	Y	Y	ÇY	O	Y	ÇY

Kriter temelli alternatiflerin her bir uzmana göre değeri Tablo 5'te gösterilmiştir. Onbir hata türünün olabilirlik derecesi temelli yakınlık katsayıları azalan sıraya göre sıralanmış ve Tablo 6'da gösterilmiştir. HT7 (Temel demir örme işinde sehpalarm demire her bağlanmasında bağ teli ile bağlanmaması) bina yapımındaki demir

işleriyle ilgili en yüksek riskli hata türü olarak değerlerine göre belirlenmiş ve ilk olarak elenmesi gereken risk olduğu tespit edilmiştir. Diğer hata türlerinin sıralaması HT3, HT8, HT1, HT4, HT2, HT5, HT9, HT6, HT11 ve HT10 olarak belirlenmiştir.

Tablo 6. Olabilirlik derecesi temelli yakınlık katsayıları

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11
PC_i	0.324	0.364	0.296	0.329	0.371	0.395	0.285	0.309	0.389	0.425	0.418
Sıra	4	6	2	5	7	9	1	3	8	11	10

Geleneksel HTEA, bulanık VIKOR, sezgisel bulanık gri ilişkisel analiz (SBGİA) metodları önerilen modelin etkinliğini göstermek için incelenmiştir. 11 hata türünün

sıralama sonuçları bu metodlar kullanılarak elde edilmiştir ve sonuçlar Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Karşılaştırma sonuçları

	HT1	HT2	HT3	HT4	HT5	HT6	HT7	HT8	HT9	HT10	HT11
Önerilen yaklaşım	4	6	2	5	7	9	1	3	8	11	10
Geleneksel FMEA	5	8	3	4	11	9	1	2	7	6	10
FVIKOR	3	10	1	5	11	7	2	4	8	6	9
IFGRA	4	8	5	1	11	9	3	2	7	6	10

Firma yöneticileri bazı şartları içeren bir iş sağlığı politikası belirlemişlerdir. Yöneticiler HTEA sonuçlarının iş sağlığı ve güvenliği politikası oluşturmak için yetersiz olduğunu belirtmişlerdir. Çünkü HTEA metodunun firmanın kapasitelerini göz ardı ettiğini belirtmişlerdir. Ayrıca, önerilen metod ve karşılaştırılan metodların sonuçları farklıdır. Bu durum uzun dönemde

bazı problemlere sebep olabilir. Bu tezde bu kısıtlamaları ortadan kaldırmak için doğrusal programlama yaklaşımı önerilmiştir. Firma iş sağlığı ve güvenliği politikasına göre bütçe kısıtı, zaman kısıtı ve düzeltilebileceği risk sayısı kısıtını sunmuştur. Firma 17500-22500 TL'lik bütçe, 6-12 hafta arası zaman ve 5-8 düzeltilebilir risk sayısını kısıt olarak belirlemiştir. 17500, 20000 ve 22500

TL olmak üzere 3 farklı bütçe belirlenmiştir. 6, 9 ve 12 hafta olmak üzere 3 farklı zaman belirlenmiştir. 5, 6, 7 ve 8 olmak üzere 4 farklı düzeltilebilir risk sayısı belirlenmiştir. Toplam olarak 36 farklı durum belirlenmiştir ve kendisi için en uygun durumu seçmesi için firmaya sunulmuştur. Yakınlık katsayısı temelli doğrusal programlama GAMS yazılım programlamada kodlanmıştır. İnşaattaki demir işleriyle ilgili hata türlerinin maliyet ve zaman verisi Tablo 8’de sunulmaktadır.

Matematiksel model ve kullanılan notasyonlar aşağıda sunulmuştur:

Notasyonlar

x_i : İkili değişken, hata türü i düzeltilirse 1’e eşit

CC_i : Tablo 6’daki hata türü i ’nin yakınlık katsayısı değeri

c_i :Düzeltilen olaydan sonraki toplam maliyet

b_i :Düzeltilen olay olmaksızın toplam maliyet

t_i : Hata türü i ’yi düzeltmek için gerekli zaman

Amaç fonksiyonu

$$\min \sum_{i=1}^n CC_i .x_i \quad (2)$$

Kısıtlar

$$\sum_{i=1}^n c_i .x_i + b_i .(1 - x_i) \leq budget \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n t_i .x_i \leq time \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i \leq number\ of\ correctable\ risk \quad (5)$$

$$x_3 + x_7 + x_8 \geq 2 \quad (6)$$

$$x_i = 0 - 1 \quad (7)$$

Tablo 8. İnşaat firmasındaki ek veriler

Hata türleri	c_i (TL)	b_i (TL)	t_i (Hafta)
HT1	500	800	0.5
HT2	700	1000	1
HT3	1000	1500	1
HT4	1100	2000	1.5
HT5	1000	1500	1
HT6	1500	3000	2.5
HT7	800	1500	0.5
HT8	1250	2500	1.5
HT9	1400	2750	2
HT10	1100	2250	1
HT11	1750	3000	2

Tablo 9. Doğrusal programlama sonuçları

Bütçe	Zaman	DRS	DR
17500	6	5	5,7,8,10,11
17500	6	6	1,3,5,7,10,11
17500	6	7	1,3,5,7,10,11
17500	6	8	1,3,5,7,10,11
17500	9	5	3,6,8,10,11

17500	9	6	3,5,6,8,10,11
17500	9	7	2,5,7,8,9,10,11
17500	9	8	1,2,3,5,7,9,10,11
17500	12	5	3,6,8,10,11
17500	12	6	3,6,8,9,10,11
17500	12	7	3,5,6,8,9,10,11
17500	12	8	2,3,5,6,8,9,10,11
20000	6	5	5,7,8,10,11
20000	6	6	2,3,4,5,7,10
20000	6	7	1,3,5,7,10,11
20000	6	8	1,3,5,7,10,11
20000	9	5	3,6,8,10,11
20000	9	6	3,5,6,8,10,11
20000	9	7	2,5,7,8,9,10,11
20000	9	8	1,2,3,5,7,9,10,11
20000	12	5	3,6,8,10,11
20000	12	6	3,6,8,9,10,11
20000	12	7	3,5,6,8,9,10,11
20000	12	8	2,3,5,6,8,9,10,11
22500	6	5	5,7,8,10,11
22500	6	6	2,3,4,5,7,10
22500	6	7	1,3,5,7,10,11
22500	6	8	1,3,5,7,10,11
22500	9	5	3,6,8,10,11
22500	9	6	3,5,6,8,10,11
22500	9	7	2,5,7,8,9,10,11
22500	9	8	1,2,3,5,7,9,10,11
22500	12	5	3,6,8,10,11
22500	12	6	3,6,8,9,10,11
22500	12	7	3,5,6,8,9,10,11
22500	12	8	2,3,5,6,8,9,10,11

Matematiksel model çözüldükten sonra elde edilen sonuçlar Tablo 9’da sunulmuştur. Tablo 9’daki sonuçlar yardımıyla firma kendisine en uygun iş sağlığı ve güvenliği politikasını belirleyebilir. Hata türü 3, 7 ve 8, IT2F TOPSIS metodunun sonucuna göre ilk üç hata türünden biri olmasına rağmen matematiksel modelin sonucuna göre iş sağlığı ve güvenliği politikalarının hiçbirinde birlikte ele alınmamıştır.

REFERENCES

- [1] Abdelgawad, M., Fayek, A. R. (2010). Risk management in the construction industry using combined fuzzy FMEA and fuzzy AHP. Journal of Construction Engineering and Management, 136, 1028–1036.
- [2] Bowles, J. B., Peláez, C. E. (1995). Fuzzy logic prioritization of failures in a system failure mode, effects and criticality analysis. Reliability Engineering & System Safety, 50(2), 203–213.
- [3] Carmignani, G. (2009). An integrated structural framework to cost-based FMECA: The priority-cost FMECA. Reliability Engineering and Systems Safety, 94, 861–871.
- [4] Chang, K. H., Chang, Y. C., Tsai, I. T. (2013a). Enhancing FMEA assessment by integrating grey relational analysis and the decision making trial

- and evaluation laboratory approach. *Eng. Fail. Anal.*, 31, 211-224.
- [5] Chang, K. H., Liaw, C.-S., Chang, T.-Y., Chang, Y.-C. (2013b). FMEA-based DEMATEL apportionment approach. *Chung Cheng Ling Hsueh Pao/Journal of Chung Cheng Institute of Technology*, 42(1), 41-58.
- [6] Chang, K. H., Cheng, C. H., Chang, Y. C. (2010a). Reprioritization of failures in a silane supply system using an intuitionistic fuzzy set ranking technique. *Soft Computing*, 14, 285–298.
- [7] Chang K.H., Cheng C.H. (2010b). A risk assessment methodology using intuitionistic fuzzy set in FMEA. *International Journal of Systems Science*, 41(12), 1457-1471.
- [8] Chang, K. H., Cheng, C. H. (2011). Evaluating the risk of failure using the fuzzy OWA and DEMATEL method. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 22, 113–129.
- [9] Chen, S.M., Hong, J. A. (2014). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on ranking interval type-2 fuzzy sets and the TOPSIS method. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 44 (12), 1665-1673.
- [10] Chen, S.M., Lee, L.W. (2010a). Fuzzy multiple attributes group decision-making based on the interval type-2 TOPSIS method. *Expert Systems with Applications*, 37(4), 2790-2798.
- [11] Chen, T. Y. (2015). An interval type-2 fuzzy technique for order preference by similarity to ideal solutions using a likelihood-based comparison approach for multiple criteria decision analysis. *Computers and Industrial Engineering*, 85, 57-72.
- [12] Geum, Y., Cho, Y., Park, Y. (2011). A systematic approach for diagnosing service failure: Service-specific FMEA and grey relational analysis approach. *Mathematical and Computer Modelling*, 54, 3126–3142.
- [13] Kutlu, A. C., Ekmekçioğlu, M. (2012). Fuzzy failure modes and effects analysis by using fuzzy TOPSIS-based fuzzy AHP. *Expert Systems with Applications*, 39, 61–67.
- [14] Liu, H.C., Fan, X.J., Li, P., Chen, Y.Z. (2014a). Evaluating the risk of failure modes with extended MULTIMOORA method under fuzzy environment. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 34, 168–177.
- [15] Liu, H.C., Liu, L., Liu, N. (2013). Risk evaluation approaches in failure mode and effects analysis: A literature review. *Expert Systems with Applications*, 40, 828–838.
- [16] Liu, H.C., Liu, L., Liu, N., Mao, L.X. (2012). Risk evaluation in failure mode and effects analysis with extended VIKOR method under fuzzy environment. *Expert Systems with Applications*, 39(17), 12926-12934.
- [17] Liu H. C., You J. X., Shan M. M., Shao L. N. (2015a). Failure mode and effects analysis using intuitionistic fuzzy hybrid TOPSIS approach. *Soft Computing*, 19(4), 1085-1098.
- [18] Liu H. C., You J. X., You X. Y., Shan M. M. (2015b). A novel approach for failure mode and effects analysis using combination weighting and fuzzy VIKOR method. *Applied Soft Computing*, 28, 579–588.
- [19] Menteş, A., Özen, E. (2015). A hybrid risk analysis method for a yacht fuel system safety. *Safety Science*, 79, 94-104.
- [20] Sachdeva, A., Kumar, D., Kumar, P. (2008). A methodology to determine maintenance criticality using AHP. *International Journal of Productivity and Quality Management*, 3(4), 396–412.
- [21] Sankar, N. R., Prabhu, B. S. (2001). Modified approach for prioritization of failures in a system failure mode and effects analysis. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 18(3), 324–336.
- [22] Seyed-Hosseini, S.M., Safaei, N., Asgharpour, M.J. (2006). Reprioritization of failures in a system failure mode and effects analysis by decision making trial and evaluation laboratory technique. *Reliability Engineering and System Safety*, 91(8), 872-881.
- [23] Sharma, R. K., Kumar, D., Kumar, P. (2005). Systematic failure mode effect analysis (FMEA) using fuzzy linguistic modelling. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 22(9), 986–1004.
- [24] Sharma, R., Sharma, P. (2012). Integrated framework to optimize RAM and cost decisions in a process plant. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 25(6), 883-904.
- [25] Song, W., Ming, X., Wu, Z., Zhu, B. (2013). Failure modes and effects analysis using integrated weight-based fuzzy TOPSIS. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 26(12), 1172-1186.
- [26] Tan, Z. D., Du, Z. F. (2013). Failure Mode and Effects Analysis of Equipment Based on Grey Theory. *Applied Mechanics and Materials*, 313-314, 763-766.
- [27] Vahdani B., Salimi M., Charkhchian M. (2015). A new FMEA method by integrating fuzzy belief structure and TOPSIS to improve risk evaluation process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 77(1-4) 357–368.
- [28] Wang Y. M., Chin K. S., Poon G. K. K., Yang J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications*, 36, 1195–1207.
- [29] Yang, J., Huang, H. Z., He, L. P., Zhu, S. P., Wen, D. (2011). Risk evaluation in failure mode and effects analysis of aircraft turbine rotor blades using Dempster–Shafer evidence theory under uncertainty. *Engineering Failure Analysis*, 18, 2084–2092.
- [30] Ye, F., Li, Y. (2014). An extended TOPSIS model based on the Possibility theory under fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, 67, 263-269.

- [31] Zammori, F., Gabrielli, R. (2011). ANP/RPN: A multi criteria evaluation of the risk priority number. Quality and Reliability Engineering International, 28, 85–104.

Yazar adresleri

¹⁻²Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,
Gazi Üniversitesi, Türkiye
¹burakefe@gazi.edu.tr, ²mkurt@gazi.edu.tr

Sorumlu yazar

*Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi,
Gazi Üniversitesi, Türkiye
¹burakefe@gazi.edu.tr,

Bulanık PROMETHEE yaklaşımını kullanarak yenilenebilir enerji politikası seçimi

Mehmet Akif Yerlikaya¹, Burak Efe^{2}, Ömer Faruk Efe³*

Özet: Son yıllarda çevre ve ekonomik gelişimi etkileyen uygun yenilenebilir enerji politikası seçimi çok önemli bir konudur. Yenilenebilir enerjiler fosil yakıtları azaltmak için alternatif olarak çeşitli ülkeler tarafından kullanılmaktadır. Yenilenebilir enerjiler üretim maliyetlerini, çevre kirliliğini ve hava kirliliğini azaltabilir. Birçok kriter altında en uygun alternatifi seçmek uzun dönem planları için birçok ülkede enerji uzmanlarına yardımcı olabilir. Yenilenebilir enerji olmayan fosil yakıtlar çevre kirliliği gibi bazı çevresel problemler meydana getirebilir. Bu çalışmada, Mousavi vd. (2017) tarafından yapılan yenilenebilir enerji politika seçimi uygulama çalışması ele alınmıştır. Bu çalışmada bulanık PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation) yaklaşımı kullanılmıştır. Biyokütle enerji, jeotermal enerji, hidroelektrik enerji, güneş enerji ve rüzgar enerji olmak üzere beş alternatif arasından yenilenebilir enerji politikası seçimi yapılmıştır. Teknolojik, çevresel, sosyal ve ekonomik kriter olmak üzere dört kriter üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Üç farklı uzman görüşü ele alınmıştır. Kriterlerin ağırlıklarını belirlemek için her bir kriterin her bir uzmana göre ağırlığı dilsel değişkenlerle belirlenmiştir. PROMETHEE metodunun çok yaygın olarak başarılı bir şekilde kullanılmasının temelinde matematiksel özellikleri ve kolay kullanımı gelmektedir. Ancak, yöntemde kullanılan girdi değerleri karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayandığı ve dolayısıyla dilsel terimlerle ifade edildiği zaman oluşan belirsizlik ve bulanıklıktan ötürü yanlış değerlendirmeler yaparak yanlış sonuçlara varma olasılığı çok yüksektir. Bu belirsizliğin yol açabileceği sorunların önüne geçmek amacıyla, bulanık sayılar ve PROMETHEE yönteminin bir kombinasyonu olan Bulanık PROMETHEE (B-PROMETHEE) yöntemi geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji politikası seçimi, bulanık mantık, PROMETHEE, çok kriterli karar verme

1 GİRİŞ

Enerji kaynakları ülkeler ve insanlar için önemli konulardan birisidir. Son on yılda, yenilenebilir enerji kaynakları fosil yakıt tüketimini azaltmak için ana alternatif ve aday olarak çeşitli ülkeler tarafından kullanılır. Yenilenebilir enerjiler sosyal ve ekonomik gelişim önemli rol oynar (Mousavi vd., 2017). Yenilenebilir enerji kaynakları fosil kaynaklarla karşılaştırıldığında bazı avantajlara sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynakları alternatif enerji kaynağı olarak da adlandırılır. Yerel kaynakları kullanan yenilenebilir enerji kaynakları sıfır veya sıfıra yakın hava kirliliğini sağlar. Başlıca yenilenebilir enerji kaynakları su enerjisi, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisidir (Kahraman vd., 2009). Yenilenebilir enerji kaynağı olmayan fosil yakıt kullanımı çevre kirliliği gibi bazı çevresel meseleler oluşturabilir. Çelişen kriterler altında en uygun enerji adayını seçme enerji tüketimi, üretimi, tedariki için uzun dönemde enerji karar vericilerine yardım edebilir (Mousavi vd., 2017).

Keeney vd. (1987) kriterlerin hiyerarşik yapısını kurdu ve Batı Almanya'nın gelecek enerji sistemlerini değerlendirmek amacıyla birleşik değer ağacında onları birleştirdi. Hamalainen ve Karjalainen (1992) Finlandiya'nın enerji politikalarının değerlendirme kriterlerinin göreceli ağırlıklarını belirlemek için AHP kullandı. Mavrotas vd. (1999) çok amaçlı doğrusal programlama modeli sundu ve Yunanistan elektrik üretim sektörüne uyguladı. Beccali vd. (2003) bölgesel

ölçekte yenilenebilir enerji teknolojilerinin yayılması için bir planı değerlendirmek için bulanık ortamda ELECTRE-III metodunu kullandı. Kaya ve Kahraman (2010) rüzgar türbinleri için en uygun alanı seçerken bütünleşik bulanık VIKOR- AHP metodunu uygulamışlardır. Topcu ve Ulengin (2004) elektrik üretim sektöründe en uygun elektrik üretim alternatifini seçmek için enerji kaynaklarını değerlendiren çok ölçütlü karar verme temelli bütünleşik bir karar destek sağladı. Patlitzianas vd. (2007) yenilenebilir enerji üreticilerinin ortamını değerlendirmek için Avrupa Birliği'nin 14 üyesini incelemişlerdir. Onlar değerlendirme için nitel görüşlerin OWA temelli bütünleşik çok kriterli karar verme yöntemini önermişlerdir. Afgan ve Carvalho (2002) ekonomik, çevre ve sosyal göstergeleri inceleyerek hibrid enerji sistemlerinin kalite değerlendirmesi için sürdürülebilir değerlendirme metodu önermişlerdir. Meixner (2009) en iyi enerji kaynağı alternatifini seçmek için bulanık AHP yöntemini incelemişlerdir. Kahraman vd. (2009) en uygun yenilenebilir enerji alternatifini seçmek için bulanık AHP ve bulanık aksiyomatik tasarım olmak üzere iki yaklaşım önerdi. Heo vd. (2010) seçilen yenilenebilir enerji faktörlerinin önemini değerlendirmek için bulanık AHP uygulamışlardır. Haddad vd. (2017) elektrik sistemi için yenilenebilir enerjileri sıralarken AHP yaklaşımını incelemişlerdir. Sindhu (2017) bütünleşik AHP-TOPSIS yaklaşımını kullanarak güneş çiftlikleri için uygunluk çalışması yapmışlardır. Bu çalışmada Mousavi vd. (2017) çalışmasındaki veriler ele alınmıştır. En uygun enerji seçimi için bulanık PROMETHEE yaklaşımı önerilmiştir. PROMETHEE metodunun çok yaygın olarak başarılı bir şekilde

kullanılmasının temelinde matematiksel özellikleri ve kolay kullanımı gelmektedir. Ancak, yöntemde kullanılan girdi değerleri karar vericilerin düşünce ve tecrübelerine dayandığı ve dolayısıyla dilsel terimlerle ifade edildiği zaman oluşan belirsizlik ve bulanıklıktan ötürü yanlış değerlendirmeler yaparak yanlış sonuçlara varma olasılığı çok yüksektir (Efe vd., 2016). Bu belirsizliğin yol açabileceği sorunların önüne geçmek amacıyla, bulanık sayılar ve PROMETHEE yönteminin bir kombinasyonu olan Bulanık PROMETHEE (B-PROMETHEE) yöntemi geliştirilmiştir.

2 YÖNTEM

PROMETHEE yöntemi, Brans tarafından 1986 yılında geliştirilmiş fayda fonksiyonları ile kıyaslanamazlık problemini aşabilen çok kriterli karar verme tekniğidir. Dilsel değişkenler ve PROMETHEE yönteminin bir kombinasyonu olan Bulanık PROMETHEE yöntemi ise ilk kez Lé Teno ve Mareschal (1998) tarafından öne sürülmüştür. Goumas ve Lygerou (2000) çalışmasında bir alçak ısıda jeotermal alana ait enerji soğurma planları alternatiflerinin sıralanması ve değerlendirilmesi için B-PROMETHEE kullanmıştır. Bilsel vd. (2006) hastane web sitelerinin performanslarını değerlendiren kalite modeli geliştirmişler ve bu performansları B-PROMETHEE yöntemi ile analiz etmişlerdir. Liu ve Guan (2009) çalışmalarında demiryolları yolcu hizmetleri kalitesini belirlemek amacıyla, yamuksal bulanık sayılar kullanarak dilsel verileri bulanık sayılara dönüştürmüş, alternatifler arasındaki bulanık ilişkileri ve bulanık akışları yine bu sayılar yardımı ile hesaplayarak, PROMETHEE II sürecini bulanıklaştırmışlardır. Ho (2006) çalışmasında ERP (Enterprise Resource Planning – Kurumsal Kaynak Planlama) sistemlerinin geliştirilme yöntemleri ve kurulum stratejilerini değerlendirmek için bulanık mantık ve ÇKKV'yi birleştirerek bulanık VIKOR (uzlaşık sıralama yöntemi) ve bulanık PROMETHEE yöntemlerini uygulamıştır. Liu ve Guan (2009) çalışmalarında demiryolları yolcu hizmetleri kalitesini belirlemek amacıyla, yamuksal bulanık sayılar kullanarak dilsel verileri bulanık sayılara dönüştürmüş, alternatifler arasındaki bulanık ilişkileri ve bulanık akışları yine bu sayılar yardımı ile hesaplayarak, PROMETHEE II sürecini bulanıklaştırmışlardır. Liao (2009)'nun otomatik yazılım geliştirmede karşılaşılan seçim problemleri konusunda, karar verme sürecindeki çatışmaları gidermek ve karar vermeyi sistematik olarak matematikselleştirmek amacıyla PROMETHEE yöntemi bulanık küme teorisi ile uygulanmıştır. Dadzie vd. (2015), çalışmalarında kamu girişimcilik sermayesi alanında B-Promethee yöntemini kullanarak en iyi işletmeyi seçmişlerdir.

Bu çalışmada B-PROMETHEE metodu Goumas ve Lygerou (2000), Le Teno ve Mareschal (1998) ve Bilsel vd. (2006) tarafından önerilen şekilde uygulanmıştır. Dolayısıyla PROMETHEE yöntemindeki tüm işlemler ve hesaplamalar bulanık sayılarla gerçekleştirilecek olup, tercih eşik değerleri (q ve p) ve ağırlıklar kesin sayı olarak kalacaktır. q ve p, bir bulanık sayının esnetilmiş

biçiminden dolayı yapılacak değerlendirmelerin belirsiz olmasının engellenmesi için bulanık sayı değildir. Aynı şekilde ağırlıklar, PROMETHEE metodunda ağırlıklar toplamının 1 olması gerektiğinden dolayı işlem çözümünde bulanık sayı olarak kullanılamaz (Yılmaz ve Dağdeviren, 2010).

Uygulamada tercih fonksiyonlarının belirlenmesi aşamasında B-PROMETHEE uygulamalarında en sık kullanılan ve problemin karakteristiğine en uygun olan doğrusal tercih fonksiyonu (5. Tip) seçilmiş ve Eş. (2)'de gösterilmiştir.

$$P(a,b) = 0, \quad x \leq q$$

$$P(a,b) = \frac{(x-q)}{(p-q)}, \quad q < x < p \quad (2)$$

$$P(a,b) = 1, \quad x > p$$

B-PROMETHEE kullanıldığında Eş. (2)'de bulunan α ve β eylemlerinin performansları arasındaki fark d, (n,c,d) bulanık sayısı olarak ifade edilecek ve Eş. (3)'teki gibi olacaktır.

$$P(a,b) = 0, \quad n-c \leq q$$

$$P(a,b) = \frac{(n,c,d) - q}{p - q}, \quad q \leq n - c \text{ ve } n + d \leq p \quad (3)$$

$$P(a,b) = 1, \quad n + d \geq p$$

3 UYGULAMA

Bu çalışmada en uygun enerji seçimi için Bulanık PROMETHEE yöntemi önerilmiştir. Mousavi vd. (2017) yapmış olduğu çalışmadaki veriler ele alınmıştır. Beş alternatif (A1, A2, ..., A5) ve dört enerji değerlendirme kriteri (K1, K2, K3, K4) ele alınmıştır. Karar süreci üç karar verici (KV1, KV2, KV3) tarafından yürütülmüştür. Karar vericilerin önem dereceleri eşit Kabul edilmiştir. Alternatifler; biyokütle enerji (A1), jeotermal enerji (A2), su gücü (A3), güneş enerjisi (A4) ve rüzgar enerjisi (A5) olarak belirlenmiştir. Kriterler; teknoloji (K1), Çevre (K2), sosyal (K3) ve ekonomik (K4) olarak belirlenmiştir. Bu çalışma önem derecelerini belirlemek için Tablo 1'deki dilsel değişkenleri kullanmıştır. Bu çalışmada bulanık PROMETHEE yöntemi için kullanılacak olan bulanık değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Kriter ağırlıkları için sözel ifadeler ve bulanık üçgen sayı olarak karşılıkları

Sözel İfadeler	Üçgen Bulanık Sayı Karşılığı
Çok yüksek (ÇY)	(3.50,4.00,4.50)
Yüksek (Y)	(2.50,3.00,3.50)
Orta (O)	(1.50,2.00,2.50)
Düşük (D)	(0.60,1.00,1.50)
Çok düşük (ÇD)	(0.1,0.20,0.30)

Tablo 2. Bulanık PROMETHEE için sözel ifadeler ve bulanık üçgen sayı olarak karşılıkları

Sözel İfadeler	Üçgen Bulanık Sayı Karşılığı
Çok çok yüksek (ÇÇY)	(0,9; 1; 1)
Çok Yüksek (ÇY)	(0,8; 1; 1)
Yüksek (Y)	(0,65; 0,8; 1)
Orta Yüksek (OY)	(0,5; 0,65; 0,8)
Orta (O)	(0,3; 0,5; 0,65)
Orta Düşük (OD)	(0,15; 0,3; 0,5)
Düşük (D)	(0; 0,15; 0,3)
Çok Düşük (ÇD)	(0; 0; 0,15)

Karar vericilerin kriterlerle ilgili görüşleri Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 4, her bir karar vericiye göre kriter temelli alternatiflerin değerini göstermektedir.

Tablo 3. Karar vericilerin kriterler hakkındaki görüşleri

Kriterler	Karar vericiler		
	KV1	KV2	KV3
K1	Y	ÇY	Y
K2	O	Y	D
K3	Y	O	O
K4	ÇY	Y	ÇY

Tablo 4. Karar vericilerin kriter temelli alternatifler hakkındaki görüşleri

Kriterler	Alternatifler	Karar vericiler		
		KV1	KV2	KV3
K1	A1	ÇÇY	Y	OY
	A2	OY	O	O
	A3	ÇY	ÇÇY	Y
	A4	ÇD	OD	D
	A5	O	D	OY
K2	A1	O	OY	Y
	A2	OD	OY	Y
	A3	OY	Y	ÇY
	A4	ÇD	D	ÇD
	A5	D	O	O
K3	A1	ÇD	O	O
	A2	O	D	OD
	A3	O	ÇD	D
	A4	ÇY	ÇÇY	ÇY
	A5	OY	O	OY
K4	A1	O	O	Y
	A2	O	O	O
	A3	O	Y	O
	A4	OD	ÇD	ÇD
	A5	O	OD	D

Bulanık PROMETHEE yönteminde eşik değerleri önemlidir. Bu nedenle uzman görüşlerini birleştirmek problem oluşturabilir. Bu çalışmada her bir uzmanın görüşleri ayrı ayrı değerlendirilir. Bulunan değerler birleştirilir ve Tablo 5'teki sonuçlar elde edilir.

Alternatiflerin sıralaması $A3 > A1 > A2 > A5 > A4$ şeklindedir. Bu sonuçlara göre yenilenebilir enerji kaynağı olarak ele alınması gereken ilk enerji kaynağı su gücü iken en son ele alınması gereken enerji kaynağı güneş enerjisi olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. Bulanık PROMETHEE sonuçları

Alternatif	1	2	3	4	5	Pozitif net	Tüm net
1	0	0.3438	0.2552	0.6834	0.4169	0.4248	0.2901
2	0.0833	0.0000	0.0000	0.5415	0.2781	0.2257	-0.0394
3	0.1667	0.3892	0.0000	0.6834	0.5836	0.4557	0.3100
4	0.2054	0.2054	0.2054	0.0000	0.1263	0.1857	-0.3758
5	0.0833	0.1221	0.1221	0.3374	0.0000	0.1662	-0.1850
Negatif net	0.1347	0.2651	0.1457	0.5614	0.3512		

4 SONUÇ

En uygun yenilenebilir enerji politikasını belirlemek enerji sektöründe karmaşık bir karar verme süreci olarak düşünülür. Bu kararı verebilmek için çelişkili kriterler belirsiz bir ortamda en iyi yenilenebilir enerji kaynağını seçmek için değerlendirilir. Bununla başa çıkabilmek için bu çalışma bulanık PROMETHEE yaklaşımını önermiştir. Kriterlerin ikili karşılaştırma matrisi üç uzman görüşü tarafından belirlenir. Bu görüşler birleştirilir ve durulaştırma yöntemiyle kriter ağırlıkları belirlenir. Kriter temelli alternatifler üç uzman görüşü tarafından belirlenir ve bulanık PROMETHEE yöntemi uygulanır. B-PROMETHEE yönteminde kullanılan p ve q tercih eşik değerleri farklı alındığı zaman yenilenebilir enerji kaynaklarının sıralaması farklı olabilir. Bu durum önerilen yöntemin eksikliği olabilir. Gelecekteki çalışmalarda yenilenebilir enerji kaynakları değerlendirilmesi için farklı çok ölçütlü karar verme tekniklerinin hibrid yaklaşımlarından yararlanılabilir. Ayrıca bu çalışmada önerilen yaklaşım personel seçimi, tedarikçi seçimi, yazılım seçimi, tesis yer seçimi gibi farklı uygulama alanlarında kullanılabilir.

REFERENCES

- [1] Mousavi, M., Gitinavard, H., & Mousavi, S. M. (2017). A soft computing based-modified ELECTRE model for renewable energy policy selection with unknown information. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 774-787.
- [2] Kahraman, C., Kaya, İ., & Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34(10), 1603-1616.
- [3] Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- [4] Keeney RL, Renn O, Winterfeldt DV. Structuring West Germany's energy objectives. *Energy Policy* 1987;15:352-62.
- [5] Hamalainen RP, Karjalainen R. Decision support for risk analysis in energy policy. *European Journal of Operational Research* 1992;56:172-83.
- [6] Beccali M, Cellura M, Mistretta M. Decision-making in energy planning: application of the electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy* 2003;28:2063-87.
- [7] Mousavi, M., Gitinavard, H., & Mousavi, S. M. (2017). A soft computing based-modified ELECTRE model for renewable energy policy selection with unknown information. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 774-787.
- [8] Kahraman, C., Kaya, İ., & Cebi, S. (2009). A comparative analysis for multiattribute selection among renewable energy alternatives using fuzzy axiomatic design and fuzzy analytic hierarchy process. *Energy*, 34(10), 1603-1616.
- [9] Kaya, T., & Kahraman, C. (2010). Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul. *Energy*, 35(6), 2517-2527.
- [10] Keeney RL, Renn O, Winterfeldt DV. Structuring West Germany's energy objectives. *Energy Policy* 1987;15:352-62.
- [11] Hamalainen RP, Karjalainen R. Decision support for risk analysis in energy policy. *European Journal of Operational Research* 1992;56:172-83.
- [12] Beccali M, Cellura M, Mistretta M. Decision-making in energy planning: application of the electre method at regional level for the diffusion of renewable energy technology. *Renewable Energy* 2003;28:2063-87.
- [13] Mavrotas G, Diakoulaki D, Papayannakis L. An energy planning approach based on mixed 0e1 multiple objective linear programming. *International Transactions in Operational Research* 1999;6:231-44.
- [14] Topcu YI, Ulengin F. Energy for the future: an integrated decision aid for the case of Turkey. *Energy* 2004;29:137-54.
- [15] Patlitzianas Konstantinos D, Ntotas Konstantinos, Doukas Haris, Psarras John. Assessing the renewable energy producers' environment in EU accession memberstates. *Energy Convers Manag* 2007;48:890-7.
- [16] Afgan Naim H, Carvalho Maria G. Multi-criteria assessment of new and renewable energy power plants. *Energy* 2002;27:739-55.
- [17] MeixnerOliver. Fuzzy AHP group decision analysis and its application for theevaluation of energy sources. in: *Fuzzy AHP group decision analysis and its application for the evaluation of energy sources, Proceedings of the 10th International Symposium on the Analytic Hierarchy/Network Process Multicriteria Decision Making*; 2009.
- [18] Heo Eunyeong, Kim Jinsoo, Boo Kyung-Jin. Analysis of the assessment factorsfor renewable energy dissemination program evaluation using fuzzy AHP. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14:2214-20.
- [19] Haddad, B., Liazid, A., Ferreira, P. A multi-criteria approach to rank renewables for the Algerian electricity system (2017) *Renewable Energy*, 107, 462-472.
- [20] Sindhu, S., Nehra, V., Luthra, S. Investigation of feasibility study of solar farms deployment using hybrid AHP-TOPSIS analysis: Case study of India (2017) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 496-511.
- [21] Brans J.P. and Vincke P. A. (1985). Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for MCDM. *Management Science*, 31, 647-656.
- [22] Le Teno, J., F., ve Mareschal, B., "An interval version of PROMETHEE for the comparison of building products' design with ill-defined data on

- environmental quality”, Eur Journal of Operational Research, 109, 522–529, 1998.
- [23] Goumas, M., Lygerou, V., 2000. An extension of the PROMETHEE method for decision making in fuzzy environment: Ranking of alternative energy exploitation projects, European Journal of Operational Research, 123, 606-613.
- [24] Bilsel, R. U., Büyüközkan, G., Ruan, D., “A fuzzy preference-ranking model for a quality evaluation of hospital web sites”, International Journal of Intelligent Systems, 21: 1181-1197 (2006).
- [25] Liu P., Guan Z., “Evaluation research on the quality of the railway passenger service based on the linguistic variables and the improved PROMETHEE-II method”, Journal of Computers, 4 (3): 265-270 (2009).
- [26] Ho, C., “Applying fuzzy multicriteria decision-making for evaluating ERP system development methods and implementation strategies”, Yüksek Lisans Tezi, I-Shou Üniversitesi Bilgi Yönetimi Bölümü, 1-3 (2006).
- [27] Liao, T. H., “Automatic program design framework in PC-BASE equipment research”, Yüksek Lisans Tezi, I-Shou Üniversitesi Bilgi Yönetimi Bölümü, 1- 3, (2009).
- [28] Dadzie E., Oplatková Z., Nabareseh S., “Selecting Start-Up Businesses in a Public Venture Capital Financing using Fuzzy PROMETHEE”, Procedia Computer Science, Volume 60, Pages 63-72 (2015).
- [29] Yılmaz, B., Dağdeviren, M., 2010. Ekipman Seçimi Probleminde PROMETHEE ve Bulanık PROMETHEE Yöntemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 25(4), 811-826.
- [30] Efe, B., Yerlikaya, M. A., Efe, Ö. F. (2016). İş Güvenliğinde Bulanık Promethee Yöntemiyle Hata Türleri ve Etkilerinin Analizi: Bir İnşaat Firmasında Uygulama. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2), 126-137.

Yazar adresleri

¹ Mehmet Akif Yerlikaya, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye, e-mail: akifyerlikaya@gazi.edu.tr

² Burak Efe, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye, e-mail: burakefe@gazi.edu.tr

³ Ömer Faruk Efe, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Gümüşhane Üniversitesi, Türkiye, e-mail: omerfarukefe86@gmail.com

Sorumlu yazar

* Burak Efe, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Türkiye, e-mail: burakefe@gazi.edu.tr

Kaba Küme-VİKOR Bütünleşik Yaklaşımı İle Müşteri Odaklı Tedarikçi Seçimi

Burak EFE¹ - Mehmet Akif YERLİKAYA^{2*} - Ömer Faruk EFE³

Özet: Günümüzde firmalar için, artan rekabet koşulları ile birlikte müşteri odaklı kaliteli ürünler üretmek ve pazar payını arttırmak için işletmeler arası uyum gittikçe daha da önemli bir hale gelmeye başlamıştır. Bu yüzden; bu firmaların Tedarik Zinciri Yönetimi(TZY)'nin temel unsurları olan gerek tedarikçiler ve gerekse müşteriler arasındaki ilişkilerini ve güvenlerini koordineli olarak yeniden yapılandırmaları büyük bir önem arz etmektedir. Tedarikçilerle geliştirilen uyum, güven ve karşılıklı işbirliğinin ürün maliyetinin düşürülmesi, kalitenin artırılması, müşteri memnuniyetinin sağlanması, teknolojik gelişmeler ve inovasyona açık olunması gibi konular üzerinde pozitif etkiler yapacağı görülmektedir. Dolayısıyla, işletmeler için Tedarik Zinciri Yönetimi'nin temel konularından olan tedarikçi seçim problemi önemli faaliyetlerinden biridir. Bu çalışmanın amacı, kimya sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için tedarikçi seçim modelini ele alarak düşük maliyetli, müşteri odaklı, yenilikçi ve pazarlama alanında gelişmiş bir tedarikçi seçimi yapmaktır. Tedarikçi seçim probleminin değerlendirilmesi için Kaba küme ve VİKOR bütünleşik yaklaşımdan yararlanılmıştır. Kaba küme yöntemi elde edilen verinin sağladığı yararlı bilginin miktarını ölçmede kullanılmaktadır. VİKOR yöntemi ise Kaba küme ile elde edilen kriter ağırlıkları ve tedarikçilere ait verilerden yola çıkarak hangi tedarikçinin seçilmesi gerektiğini belirlemek için kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çok Ölçütlü Karar Verme, İnovasyon, VİKOR, Tedarikçi Seçimi

1. GİRİŞ

Günümüzde firmalar için, artan rekabet koşulları ile birlikte müşteri odaklı kaliteli ürünler üretmek ve pazar payını arttırmak için işletmeler arası uyum gittikçe daha da önemli bir hale gelmeye başlamıştır. Bu yüzden; firmaların Tedarik Zinciri Yönetimi(TZY)'nin temel unsurları olan gerek tedarikçiler ve gerekse müşteriler arasındaki ilişkilerini ve güvenlerini koordineli olarak yeniden yapılandırmaları büyük bir önem arz etmektedir. Tedarikçilerle geliştirilen uyum, güven ve karşılıklı işbirliğinin ürün maliyetinin düşürülmesi, kalitenin artırılması, müşteri memnuniyetinin sağlanması, yönetsel gelişmeler ve inovasyona açık olunması gibi konular üzerinde pozitif etkiler yapacağı görülmektedir. Dolayısıyla, işletmeler için Tedarik Zinciri Yönetimi'nin temel konularından olan tedarikçi seçim problemi önemli faaliyetlerinden biridir.

Literatürde 1960'dan günümüze tedarikçi seçimi ve değerlendirme problemi ile ilgili pek çok çalışma bütünleşik bir yaklaşım kullanılmıştır. Kaba Küme yöntemi kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılmıştır. VİKOR yöntemi ise bu ağırlıkları ve

mevcuttur. Problem ile ilgili mevcut çalışmalar, kullandıkları yöntemler itibariyle; çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri, Matematiksel Programlama ve Melez Yaklaşımlar olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir [1]. Literatürde, doğrusal programlama ve AHP, AHP ve Hedef Programlama, AHP ve ELECTRE, Analitik Ağ Prosesi ve Hedef Programlama, Bulanık Hedef Programlama ve PROMETHEE melez yaklaşımları ile probleme çözüm getiren pek çok çalışma olmakla beraber Kaba küme ve VİKOR yöntemlerini beraberce kullanan yalnızca bir çalışma mevcuttur. Ağırşun(2012), bulanık kaba kümeler ile geliştirilmiş Analitik hiyerarşi sürecinden (AHS) elde edilen ağırlıklarla, klasik AHS'den elde edilen ağırlıkları birleştirerek VİKOR yöntemi ile tedarikçileri sıralamıştır.

Bu çalışmanın amacı, kimya sektöründe faaliyet gösteren bir işletme için tedarikçi seçim modelini ele alarak düşük maliyetli, müşteri odaklı ve yenilikçi bir tedarikçi seçimi yapmaktır. Bunun için, müşteri ve yönetim sorunları ele alarak Kaba Küme ve VİKOR yöntemleri ile en uygun tedarikçi seçiminde

tedarikçilere ait verileri kullanarak tedarikçiler için bir sıralama elde edilmiştir.

2. YÖNTEMLER

2.1. Kaba Küme Yöntemi

Kaba küme teorisi, bulanık çalışma ve belirsizlik problemleri için Pawlak[3] tarafından önerilen yaygın ve kabul gören matematiksel bir araçtır. Belli koşullar altında nesne sınıflandırmasını belirlemek için bilginin kullanılmasını mümkün kılan, az miktarda değişmeyen kümenin (çekirdek) ve büyük verilerde asgari bir kural kümesinin (basitleştirilmesi) çözülmesine ilişkin teoriyi kapsar. Bu yöntemde ek ve ön bilgiye ihtiyaç yoktur. 6 işlemden oluşmaktadır[4]:

1. $S = (U, A, V, F)$ bir bilgi sistemi olarak tanımlansın. U : boş olmayan sonlu kümenin bir nesnesi. A : kriterlerin boş olmayan sonlu bir kümesi, $A = CUD$, $CnD = \emptyset$. C : koşul kriter kümesi. D : karar kriter kümesi. $V = U \in AVa$, Va : a 'nın aralığı; $f: U \times A \rightarrow V$: her kriter için her nesneye bir mesaj değeri veren bir bilgi fonksiyonudur. $\forall a \in A, x \in U, f(x, a) \in Va$

2. $B(B \subseteq A)$ 'nın boş olmayan bir alt kümesinin her birine $IND(B)$ denklik ilişkisi vardır. $IND(B) = \{(x, y) / (x, y \in U \times U, \forall b \in B(b(x) = b(y)))\}$

3. $U/IND(B) = (X_1, X_2, \dots, X_n)$ ifadesini temsil eden $IND(B)$ U nesnesini oluşturur. Burada A , farklı denklik sınıfları içindir.

4. $P \subseteq A$, $H(P) = -\sum_{i=1}^n P(X_i) \log_2 P(X_i)$ için bilgi entropisine ait kriterlerin alt kümesidir. Burada $P(X_i) = |X_i| / |U|$, $U/IND(p) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$, $i=1, 2, \dots, n$.

5. $P(U/IND(P)) = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ entropisi üzerinde $Q(U/IND(Q)) = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\}$ koşul kriterlerinin bir alt kümesi $H(Q|P) = -\sum_{i=1}^n P(X_i) \sum_{j=1}^m P(Y_j|X_i) \log_2 P(Y_j|X_i)$ 'dir. Burada, $P(Y_j|X_i)$ koşullu olasılıktır, $i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, m$.

6. $S = (U, A, V, f)$ bir bilgi sistemidir. Bununla birlikte, $A = CUD$, $CnD = \emptyset$, $E \subseteq C$. A 'nın önem derecesi $SGF(a, E, D) = H(D|E) - H(D|E \cup \{a\})$ 'dir. Belirli bir kriter alt kümesi E için, $SGF(a, E, D)$ değeri ne kadar büyükse karar D için o kadar önemlidir.

2.2. VİKOR Yöntemi

Serafim Opricovic tarafından ilk kez ortaya atılan VİKOR yöntemi, 2004 yılında Opricovic ve Tzeng tarafından yapılan çalışma ile birlikte çok kriterli karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Yöntemin temelinde, alternatifler ışığında ve değerlendirme kriterleri kapsamında bir uzlaşık çözümün tespit edilmesi vardır. Bu uzlaşık çözüm, ideal çözüme en yakın çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. Uzlaşık çözüm ifadesiyle, alternatifler için çok kriterli sıralama indeksi oluşturularak, belirli koşullar kapsamında ideal çözüme en yakın kararın verilmesi anlaşılmaktadır. Her alternatifin, karar verme kriterleri bazında değerlendirildiği varsayımı altında, ideal alternatife yakınlık değerleri karşılaştırılarak uzlaşık sıralamaya ulaşılr. VİKOR yöntemi 6 adımdan oluşmaktadır[].

1. Tüm kriter için alternatiflerin aldığı en iyi ve en kötü değerlerin belirlenir.
2. Her bir alternatif için ortalama ve en kötü skorlar değerlerinin hesaplanır.
3. Her alternatif veya değerlendirme birimi için maksimum grup faydasının hesaplanır.
4. Elde edilen ortalama, en kötü skor ve maksimum grup faydası değerleri küçükten büyüğe olacak şekilde sıralanır. Burada, en küçük grup faydası değerine sahip alternatif en iyi alternatiftir.
5. 4. Adımdaki sıralamaya göre karar vericiler için kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar kümeleri belirlenir.

3. UYGULAMA

Bu bölümde, müşteri odaklı en iyi tedarikçi seçimi için, karar matrisinde oluşan çelişkilerden dolayı probleme daha iyi yön vereceğinden Kaba Küme ve kıyaslanmazlık problemini pratik olarak aşabildiği için VİKOR yöntemleri uygulanmıştır. Kaba Küme yöntemi tedarikçilere ait kriter ağırlığını belirlemek için kullanılmıştır. Firma yöneticilerinin de olduğu uzman ekip tarafından belirlenen kriterler; maliyet, teslimat süresi, kalite, modern yönetim anlayışı ve inovasyondur. VİKOR yöntemi ise Kaba Küme ile elde edilen kriter ağırlıkları ve tedarikçilere ait verilerden yola çıkarak hangi tedarikçinin seçilmesi gerektiğini belirlemek için kullanılmıştır. Bütünleşik

yaklaşım atık su analizinde test kiti üreten 4 tedarikçi firma yöneticilerinden alınan gerçek verilerle çalıştırılmıştır.

Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin kısaca tanımları ve özellikleri şöyledir: **Maliyet** kriteri; bir kutu test kitinin Euro cinsinden satış fiyatıdır. **Kalite** kriteri, hatalı üretim oranı olarak ifade edilmektedir ve karar matrisinde % sapma ile ifade edilmiştir. **Teslimat süresi** kriteri; ürünlerin müşterilere ulaştırılma süresinin uygunluk düzeyidir. Bu kriter 1-10 arasında puanlandırma yapılarak değerlendirilmiştir. **Modern yönetim ve inovasyon** kriteri; yeni yönetim anlayışı ve yeniliklere uyum düzeyidir. Bu kriter de teslimat süresi kriterinde olduğu gibi 1-10 arasında puanlandırma yapılarak değerlendirilmiştir.

3.1. Kaba Küme yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tedarikçi seçim problemine ait karar matrisi üzerinde gerçekleştirilen Kaba Küme yöntemi adımları ile kriter ağırlıkları büyükten küçüğe sırasıyla; maliyet kriteri %37.2, teslimat süresi kriteri %25.6, kalite kriteri %18.6 ve modern yönetim ve inovasyon kriteri %18.6 olarak elde edilmiştir.

3.2. VİKOR Yöntemi ile En İyi Tedarikçinin Belirlenmesi

VİKOR Yöntemi ile müşteri ihtiyacı temelinde test kiti üreten 4 tedarikçi firmanın belirlenen kriterler nazarında öncelik sıralaması yapılmıştır. Müşteri odaklı tedarikçi seçimi için oluşturulan modelin VİKOR yöntemine göre 6 adımdan oluşan çözümü Microsoft Office Excel 2013 kullanılarak yapılmıştır. Kriterler bazında alternatif destek programlarına ait sayısal veriler tedarikçi firma yöneticilerden elde edilmiş ve Tablo-1'de karar matrisinde gösterilmiştir. Karar matrisindeki kriter ağırlıkları Kaba küme yöntemi çıktılarıdır.

Kaba Küme-VİKOR yöntemi sonucu Tablo-2'de maksimum grup faydası değerleri küçükten büyüğe sıralı olarak verilmiştir. Belirtilen sıra, her bir tedarikçinin öncelik sırasını göstermektedir. Buna göre en iyi alternatif ilk sırada yer alan Tedarikçi-1'dir.

Tablo 1. Karar Matrisi

Kriterler→	Maliyet (£)	Kalite (%sapma)	Teslimat süresi	Modern yönetim ve inovasyon
Kriter Ağırlıkları→	0.372	0.186	0.256	0.186
Alternatifler↓				
Tedarikçi 1	50	%2	2	8
Tedarikçi 2	80	%5	4	7
Tedarikçi 3	75	%3	5	6
Tedarikçi 4	70	%1	7	7

Tablo 2. Tedarikçilerin ortalama, en kötü skor ve maksimum grup faydası değerleri

	S(j)	R(j)	Q(j)
Alternatifler↓			
Tedarikçi 1	0.30264264	0.25615215	0.033083
Tedarikçi 4	0.34093027	0.24794929	0.038142
Tedarikçi 3	0.69134041	0.30993661	0.637214
Tedarikçi 2	0.80455816	0.37192393	1

4. SONUÇ

Küreselleşen dünyada işletmeler için daha rekabetçi şartların sağlanabilmesi için kaliteli, yenilikçi ve müşteri isteklerine uygun üretim sürecine sahip olmaları gerekir. Bu yüzden, müşteri isteğine uygun üretim açısından tedarikçilerden alınan malzeme ve hammaddelerin kalitesi, maliyeti ve güvenilirliği işletmeler için her zaman önemli olmuştur. Dolayısıyla, işletmeler için müşteri odaklı etkin bir tedarik zinciri yönetimi kurulması işletmeler arası rekabette avantaj sağlayacaktır. Tedarik zinciri yönetimin en önemli konularından biri de tedarikçi seçimidir.

Bu çalışmada modern yönetim ve yeniliğe yönelik çalışmalarını da içinde barındıran bir işletmenin üretimde müşteri odaklı faaliyetlerine uygun olarak tedarikçi seçim sürecine bir uygulama yapılmıştır. Kaba küme yönteminden elde edilen sonuçlara göre, tedarikçilerin değerlendirilmesinde maliyet ve teslimat süresi kriterleri büyük rol oynamaktadır. Karar matrisi incelendiğinde bu iki kriter için tedarikçilere ait verilerde farklılıklar gözlemlenmiştir. Kalite ve modern yönetim&inovasyon kriterleri ise tedarikçilerin değerlendirilmesinde çok az etkili olabilmektedir.

Çünkü karar matrisinde bu kriterlere ait verilerde ayrıklık(çelişki) daha fazla olduğundan daha az bilgi vermektedir. VİKOR yönteminde en iyi alternatifin Tedarikçi-1 olmasında en yüksek ağırlığa sahip maliyet kriterinin önemli ölçüde etkisi olduğu işletmenin tedarikçi-1'i tercih etmesi gerektiği ve tedarikçi seçiminde bu işletme için maliyet ve modern yönetim&inovasyon kriterlerinin daha önemli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

REFERANSLAR

- [1] Arıkan F. and Küçükce Y. S. (2012). A supplier selection-evaluation problem for the purchase action and its solution. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 27, 255–264.
- [2] Ağırğün B. (2012). Bulanık-Kaba Küme yardımcı AHS ve VİKOR ile Tedarikçi Seçimi, *Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 1-11.
- [3] Pawlak Z. (1991). Rough classification., *International Journal of Human-Computer Studies*, 5(1), 369–83.
- [4] Pawlak, Z. (1995). Vagueness and uncertainty-a rough set perspective, *Computational, Intelligence*, 11(2), 227–32.
- [5] Liu, S., Chan, F., Chung, S.H. (2011). A study of distribution center location based on the rough sets and interactive multi-objective fuzzy decision theory, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 27, 426-433.
- [6] Opricovic, S., “Multi-Criteria Optimization of Civil Engineering Systems”, *Faculty of Civil Engineering, Belgrade*, 1998.
- [7] Hwang, C.L., Yoon, K., (1981). *Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*. Springer, Berlin Heidelberg.
- [8] Web-1: [http:// www.turkak.org.tr/turkaksite](http://www.turkak.org.tr/turkaksite), consulted 12 February 2016.
- [9] Shahmardan A. and Zadeh M.H. (2014). New Integrated approach for solving a supplier Selection Problem in a competitive environment.

Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 25,
310-319

[10] Ignatius J., Motlagh S., Sepehri M. and Behzadian M. (2010). Hybrid models in decision making under uncertainty: The case of training provider evaluation. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 21, 147-162.

[11] Diakoulaki D., Mavrotas G., Papyannakis L. T. (1995). Determining Objective Weights In Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method. Computers & Operations Research, 22, 763-770.

[12] Brans J.P. and Vincke P. A. (1985). Preference Ranking Organizational Method: The PROMETHEE Method for MCDM. Management Science, 31, 647-656.

[13] Hashemian S.M. and Behzadian M. (2014). A fuzzy hybrid group decision support system approach for the supplier evaluation process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 73,5-8.

Yazarların Adresleri

Burak EFE¹, Arş.Gör, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yükseliş sok., No:820, 03125823846, burakefe@gazi.edu.tr

Mehmet Akif YERLİKAYA², Arş.Gör, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yükseliş sok., No:846, 03125823823, akifyerlikaya@gazi.edu.tr

Ömer Faruk EFE³, Arş.Gör, Gümüşhane Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, omerfarukefe86@gmail.com

Sorumlu Yazar

Mehmet Akif YERLİKAYA², Arş.Gör, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yükseliş sok., No:846, 03125823823, akifyerlikaya@gazi.edu.tr

KRİTİK-TOPSİS Bütünleşik Yaklaşımı İle Akreditasyon-Temelli Tedarikçi Seçimi

Mehmet Akif YERLİKAYA¹ - Feyzan ARIKAN²

Özet: *Günümüz dünyasında çevresel sürdürülebilirlik konusu tedarik zinciri içerisinde artan bir önem kazanmıştır. Bir tedarik zincirinin çevresel sürdürülebilirliği, tedarik zinciri üyelerinin satın alma stratejisine bağlıdır. Geleneksel satın alma stratejileri maliyet, kalite, teslim süresi müşteri memnuniyeti gibi kriterleri tedarikçi seçiminde ön plana çıkarmıştır. Ancak, son zamanlarda çevresel sürdürülebilirliği vurgulayan, yasal uygulamalarla çerçevesi belirlenmiş kriterler; özellikle doğayı tehdit eden kimyasal atıklar oluşturan firmaların akredite olabilmesinde kritik hale gelmiştir. Kimyasal analiz içeren bir üretim sürecinde üretimin aksamaması için maliyetleri düşük tutmak açısından akredite edilmiş etkin bir tedarik zinciri kurulmalıdır. Dolayısıyla bu çalışmada, kimya endüstrisinde yer alan bir firma için, atık suyun sağlığı tehdit edip etmediğini ölçümleyen test kiti üreten tedarikçiler arasından seçim problemi ele alınmıştır. Problemin çözümü için KRİTİK ve TOPSİS yöntemleri bütünleşik olarak kullanılmıştır. KRİTİK yöntemi ile kriterler ağırlıkları belirlenmiştir. Dikkate alınan kriterler; maliyet, bilgi ve beceri, kalite, kalibrasyon, yönetim sistemi ve teknoloji kriterleridir. Çalışmada veriler, tedarikçilerden birebir görüşmeli anket çalışması ile elde edilmiştir. TOPSİS yönteminin sonucunda kimya sektöründeki bahsi geçen firma için en etkin tedarikçi belirlenmiştir.*

Anahtar Kelimeler: KRİTİK, Akreditasyon, TOPSİS, Tedarikçi Seçimi

1. GİRİŞ

Günümüzde değişen pazar koşullarıyla beraber bir şirketin pazar payını kaybetmemesi için bu koşullara uyum sağlaması gerekmektedir. Hızla gelişen teknoloji, inovasyon ve kalite standartları alanındaki gelişmeler sayesinde üretim süreci daha hızlı ve verimli, üretilen ürünler daha kaliteli olabilmekte ve ürün çeşitliliği sağlanabilmektedir. Bütün bu gelişmelerin sonucu olarak da giderek rekabet artmış ve pazar genişlemiştir. Artan ürün ve üretici çeşitliliği ile birlikte teknolojik gelişmeler ve kalite standartlarına uyum da göz önüne alınarak tek tedarikçiyle çalışmak şirketin bütün ihtiyaçlarını karşılamaya yetmemektedir. Özellikle çevresel politikalarından dolayı, kimyasal analiz içeren bir üretim sürecinde ise üretimin aksamaması, maliyetleri düşük tutmak açısından akredite edilmiş etkin bir tedarik zinciri kurulmalıdır. Aynı şekilde şirket ile tedarikçi arasındaki uyum ve tedarik zincirinin verimli işleyebilmesi için tedarikçilerin birbirleriyle uyumu büyük önem arz etmektedir. Bu noktada da tedarikçi seçimi oldukça stratejik ve ciddi bir karar olarak ortaya çıkmaktadır.

Literatürde 1960'dan günümüze tedarikçi seçimi ve değerlendirme problemi ile ilgili pek çok çalışma mevcuttur. Problem ile ilgili mevcut çalışmalar, kullandıkları yöntemler itibarıyla; çok kriterli karar verme (ÇKKV) teknikleri, Matematiksel Programlama ve Melez Yaklaşımlar olmak üzere üç ana başlıkta toplanabilir [1]. Genel tedarikçi seçimi ve değerlendirmesi çalışmaları ile ilgili tam bir resim elde etmek için, tablo-1'de verilen genel literatür araştırması incelenebilir [2]. Bu çalışmalara bakıldığında tedarikçi seçiminde ÇÖKV yöntemi olarak daha çok AHP, ANP, TOPSİS, PROMETHEE ve ELECTRE yöntemleri kullanılmıştır. Literatürde, KRİTİK ve TOPSİS yöntemlerini bir arada kullanan çalışma mevcut değildir.

Bu çalışma, çevresel politikalar açısından birden çok karar alternatifi bulunan ve birçok kişinin karar vermesi gereken gerçek hayattaki koşullarda, alternatifler arasından akreditasyon temelli en iyi tedarikçiyi seçmeyi amaçlamaktadır. Bunun için, akreditasyon ve teknolojik sorunları ele alarak KRİTİK ve TOPSİS yöntemleri ile en uygun tedarikçi seçiminde bütünleşik bir yaklaşım

kullanılmıştır. KRİTİK yöntemi kriter ağırlıklarını belirlemek için kullanılmıştır. TOPSIS yöntemi ise

bu ağırlıkları ve tedarikçilere ait verileri kullanarak tedarikçiler için bir sıralama elde edilmiştir.

No	Yazar(lar)	Yıl	Yöntem(ler)	Uygulama Alanı
1	Nydick ve Hill	1992	AHP	
2	Ghodsypour ve O'Brien	1998	AHP+LP	TZÜ Üreticisi
3	Boer vd.	1998	ELECTRE I	
4	Yahya ve Kingsman	1999	AHP	Girişimci Geliştirme Programı
5	Dağdeviren ve Eren	2001	AHP+0-1 GP	
6	Tam ve Tummala	2001	AHP	Telekomünikasyon Endüstrisi
7	Chan ve Chan	2004	AHP	İleri Teknoloji Endüstrisi
8	Wang vd.	2004	AHP+PGP	Varsayımsal Otomobil Üreticisi
9	Dağdeviren vd.	2005	ANP	
10	Yang ve Chen	2006	AHP+Gri İlişkisel Analiz	Dizüstü Bilgisayar Üreticisi
11	Seydel	2006	VZA, SMART	FBK Endüstrisi
12	Akman ve Alkan	2006	Bulanık AHP	Otomativ Yan Sanayii
13	Paksoy ve Güleş	2006	AHP	Teks til Üreticisi
14	Chen vd.	2006	Bulanık TOPSIS	Yüksek Teknoloji Üreticisi
15	Chan ve Kumar	2007	Bulanık AHP	Üretim İşletmesi
16	Xia ve Wu	2007	AHP+MOMIP	Varsayımsal Örnek
17	Seçme ve Özdemir	2008	Bulanık AHP	Mobilya Üreticisi
18	Chan vd.	2008	Bulanık AHP	Üretim İşletmesi
19	Chou ve Cheng	2008	Bulanık SMART	Bilgi Teknolojileri Endüstrisi
20	Dağdeviren ve Eraslan	2008	PROMETHEE	Elektronik Sektörü
21	Ecer ve Küçük	2008	AHP	Mağazalar Zinciri
22	Mendoza vd.	2008	AHP+PGP	Üretim İşletmesi
23	Kirytopoulos vd.	2008	ANP	İlaç Endüstrisi
24	Wang vd.	2009	Bulanık Hiyerarşik TOPSIS	Batarya Üreticisi
25	Boran, Genç vd.	2009	Sezgisel Bulanık TOPSIS	Otomativ Sanayii
26	Lin	2009	Bulanık ANP+MOLP	
27	Ku vd.	2010	Bulanık (AHP+GP)	Elektronik Sektörü
28	Lin vd.	2010	ANP+TOPSIS+LP	Elektronik Sektörü
29	Bagheri ve Tarokh	2010	AHP+Bulanık TOPSIS	Otomativ Sanayii
30	Özdemir	2010	AHP	Otomativ Sanayii
31	Chamodrakas vd.	2010	Bulanık (AHP+Prog.)	Elektronik Pazaryeri
32	Şevkli	2010	ELECTRE, Bulanık ELECTRE	Otomativ Yan Sanayii
33	Sanayei vd.	2010	Bulanık VIKOR	Otomativ Yan Sanayii
34	Fazlollahtabar vd.	2011	AHP+TOPSIS+MONLP	Elektronik Market

2. YÖNTEMLER

2.1. KRİTİK Yöntemi

Diakoulaki vd. (1995), sekiz adet Yunan eczacılık firmasının performansını ölçtükleri çalışmada kullandıkları üç değerlendirme kriterini ağırlıklandırmak amacıyla CRITIC, Standart Sapma (SD) ve Ortalama Ağırlıklar (MW) yöntemlerini geliştirmiştir. CRITIC yönteminde, karar matrisi analitik olarak incelenerek değerlendirme kriterlerinde bulunan bilginin çıkarılması amaçlanmaktadır. CRITIC Yöntemi'nin algoritması aşağıda gösterildiği gibidir[3].

- Adım 1. Karar Matrisinin Normalize Edilmesi
- Adım 2. Korelasyon Katsayı Matrisinin Oluşturulması
- Adım 3. Değerlendirme kriterlerinde bulunan zıtlık yoğunluğu (contrast intensity) ve çelişkilerden (conflicts) probleme ait toplam bilginin hesaplanması
- Adım 4. Kriter ağırlıklarının hesaplanması

2.2. TOPSİS Yöntemi

TOPSİS Yöntemi uzlaşık çözüm kavramına dayalı olarak en iyi alternatif seçmek amacıyla Hwang ve Yoon (1981) tarafından geliştirilen bir ÇKKV tekniğidir. TOPSİS Yönteminin temel ilkesi, uygulama sonucu seçilen alternatifin pozitif ideal çözümden en kısa Öklid mesafesinde, negatif ideal çözümden ise en uzak Öklid mesafesinde olmasıdır. Pozitif ideal çözüm, ele alınan problemle ilgili toplam faydayı maksimize ederken aynı zamanda toplam maliyeti minimize eden çözümdür. Tersine olarak, negatif ideal çözüm faydayı minimize ederken toplam maliyeti maksimize eden çözümdür. TOPSİS Yöntemi 5 adımdan oluşmaktadır [4]:

- Adım 1. Karar Matrisinin Normalize Edilmesi.
- Adım 2. Ağırlıklandırılmış normalize matrisin düzenlenmesi.
- Adım 3. Pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarının hesaplanması.

- Adım 4. Pozitif ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklıkların hesaplanması.
- Adım 5. İdeal çözüm noktasına olan göreceli yakınlığın hesaplanması.
- Adım 6. Alternatiflerin sıralanması.

3. UYGULAMA

Bu bölümde, akreditasyon temelli en iyi tedarikçi seçimi için, karar matrisinde oluşan çelişkilerden dolayı probleme daha iyi yön vereceğinden KRİTİK ve kıyaslanmazlık problemini aşabildiği için TOPSİS yöntemleri uygulanmıştır. KRİTİK yöntemi tedarikçilere ait kriter ağırlığını belirlemek için kullanılmıştır. Firma yöneticilerinin de olduğu uzman ekip tarafından belirlenen kriterler; maliyet, bilgi ve beceri, kalite, kalibrasyon, yönetim sistemi ve teknolojidir. TOPSİS yöntemi ise KRİTİK ile elde edilen kriter ağırlıkları ve tedarikçilere ait verilerden yola çıkarak hangi tedarikçinin seçilmesi gerektiğini belirlemek için kullanılmıştır. Bütünlük yaklaşım atık su analizinde test kiti üreten 4 tedarikçi firma yöneticilerinden alınan gerçek verilerle çalıştırılmıştır.

Tedarikçi seçimi ve değerlendirilmesinde kullanılan kriterlerin kısaca tanımları ve özellikleri şöyledir: **Maliyet** kriteri; bir kutu test kitinin satış fiyatıdır. **Bilgi ve beceri** kriteri, ilgili tedarikçi firmada test kiti üretimi ve analizinde görevli personel ya da personellerin bilgi seviyesi ve uygulama becerisidir. Bu kriter bazında tedarikçiler 1-10 arasında puanlandırma yapılarak değerlendirilmiştir. **Kalite** kriteri, hatalı üretim oranı olarak ifade edilmektedir. **Kalibrasyon** kriteri; doğruluğundan emin olunan referans ölçüm ile doğruluğundan emin olunmayan bir ölçümün mukayese edilmesiyle elde edilen test kiti güvenilirlik oranıdır [5]. **Yönetim sistemi** kriteri; tedarikçi firmanın satış ve pazarlamada etkisi, modern yönetim anlayışı ve kalite standartlarına uyum düzeyidir. Bu kriter de bilgi ve beceri kriterinde olduğu gibi 1-10 arasında puanlandırma yapılarak değerlendirilmiştir. **Teknoloji** kriteri; tedarikçi firmanın kullanmış olduğu ölçüm cihazları, laboratuvar malzemeleri ve bilgisayar programlarının teknolojik gelişmelere uyum düzeyidir [6]. Bu kriter bazında tedarikçiler 1-5 arasında puanlandırma yapılarak değerlendirilmiştir.

3.1. KRİTİK yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Tedarikçi seçim problemine ait karar matrisi üzerinde gerçekleştirilen KRİTİK yöntemi adımları ile kriter ağırlıkları büyükten küçüğe sırasıyla; teknoloji %24, yönetim sistemi %19, kalibrasyon %16, maliyet %16, bilgi ve beceri %13 ve kalite %12 olarak elde edilmiştir.

3.2. TOPSİS Yöntemi ile En İyi Tedarikçinin Belirlenmesi

TOPSİS Yöntemi ile Akreditasyon temelinde test kiti üreten 4 tedarikçi firmanın belirlenen kriterler nazarında öncelik sıralaması yapılmıştır. Akreditasyon temelli tedarikçi seçimi için oluşturulan modelin TOPSİS yöntemine göre 6 adımdan oluşan

çözümü Microsoft Office Excel 2013 kullanılarak yapılmıştır. Kriterler bazında alternatif destek programlarına ait sayısal veriler tedarikçi firma yöneticilerden elde edilmiş ve Tablo-1'de karar matrisinde gösterilmiştir. Karar matrisindeki kriter ağırlıkları KRİTİK yöntemi çıktılarıdır. KRİTİK-TOPSİS yöntemi sonucu Tablo-2'de İdeal çözüme göre yakınlık değerleri büyükten küçüğe sıralı olarak verilmiştir. Belirtilen sıra, her bir tedarikçinin öncelik sırasını göstermektedir. Buna göre en iyi alternatif ilk sırada yer alan Tedarikçi-1'dir.

Tablo 1. Karar matrisi

Kriterler→	Maliyet (£)	Bilgi Ve Beceri	Kalite (%sapma)	Kalibrasyon (%güven)	Yönetim Sistemi	Teknoloji
Kriter Ağırlıkları→	0,16	0,13	0,12	0,16	0,19	0,24
Alternatifler↓						
Tedarikçi 1	50	8	%2	%96,5	7	2
Tedarikçi 2	80	5	%5	%96	8	4
Tedarikçi 3	75	6	%3	%98,5	6	4
Tedarikçi 4	70	9	%1	%98	7	3

Tablo 2. Tedarikçilerin net akış değerleri

Sıra	Alternatifler	Pozitif İdeal Ayrım Ölçüsü	Negatif İdeal Ayrım Ölçüsü	İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması
1	Tedarikçi 1	0.075641909	0.08864538	0.5395754
2	Tedarikçi 2	0.08976604	0.09220383	0.50669834
3	Tedarikçi 3	0.095065445	0.05971372	0.38579945
4	Tedarikçi 4	0.104871914	0.0380428	0.26619233

4. SONUÇ

İşletmeler için daha rekabetçi şartların sağlanabilmesi için kaliteli ve istikrarlı bir üretim sürecine sahip olmaları gerekir. Bu yüzden, tedarikçilerden alınan malzeme ve hammaddelerin kalitesi, maliyeti, standartlara uygunluğu ve

güvenilirliği işletmeler için her zaman önemli olmuştur. Ancak, son zamanlarda gelişen teknoloji, çevre yönetimi ve globalleşme ile birlikte kalite standartları ve akreditasyon çalışmaları gittikçe önem kazanmaya başlamıştır. Özellikle, atık maddelerin artırılması gibi çevresel politikalardan dolayı kimyasal analizlerin olduğu bir laboratuvara sahip işletmelerin, üretim sürecinin aksamaması için akreditasyon çalışmaları olmazsa olmazlar arasındadır.

Dolayısıyla, işletmeler için akredite edilmiş etkin bir tedarik zinciri yönetimi kurulması işletmeler arası rekabette avantaj sağlayacaktır. Tedarik zinciri yönetimin en önemli konularından biri de tedarikçi seçimidir.

Bu çalışmada laboratuvar çalışmalarını içinde barındıran bir işletmenin akreditasyon faaliyetlerine uygun olarak tedarikçi seçim sürecine bir uygulama yapılmıştır. Uygulamada ÇKKV yöntemlerinden KRİTİK ve TOPSİS yöntemleri kullanılmıştır. KRİTİK yöntemi ile ikili karşılaştırma matrisi kullanılarak kriter ağırlıkları elde edilmiştir. Tedarikçi seçiminde kullanılacak olan kriterler, bir akreditasyon sürecinde olması gereken kriterler olmak üzere uzman bir ekip tarafından belirlenmiştir. TOPSİS yöntemi ile de kriter ağırlıkları kullanılarak alternatiflerin pozitif ideal, negatif ideal ve ideal çözüm değerlerine göre sıralaması oluşturulmuştur. Elde edilen sıralamaya göre tedarikçi-1 tercih edilmesi gerekmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Arikan F. and Küçükce Y. S. (2012). A supplier selection-evaluation problem for the purchase action and its solution. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 27, 255–264.
- [2] Supçiller A., Çapraz O. (2011). AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması. Ekonometri ve İstatistik, 13, 1-22.
- [3] Diakoulaki D., Mavrotas G., Papyannakis L. T. (1995). Determining Objective Weights In Multiple Criteria Problems: The CRITIC Method. Computers & Operations Research, 22, 763-770.
- [4] Hwang, C.L., Yoon, K., (1981). Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications. Springer, Berlin Heidelberg.
- [5] <http://www.biyokam.gazi.edu.tr/posts/view/title>, consulted 12 February 2016.
- [6] <http://www.turkak.org.tr/turkaksite>, consulted 12 February 2016.
- [7] Shahmardan A. and Zadeh M.H. (2014). New Integrated approach for solving a supplier Selection Problem in a competitive environment. Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics, 25, 310-319

[8] Ignatius J., Motlagh S., Sepehri M. and Behzadian M. (2010). Hybrid models in decision making under uncertainty: The case of training provider evaluation. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 21, 147-162.

[9] Çakır S. Perçin S. (2013). Çok Kriterli Karar Verme Teknikleriyle Lojistik Firmalarında Performans Ölçümü. Ege Akademik Bakış, 13, 449-459.

[10] Brans J.P. and Vincke P. A. (1985). Preference Ranking Organization Method: The PROMETHEE Method for MCDM. Management Science, 31, 647-656.

[11] Hashemian S.M. and Behzadian M. (2014). A fuzzy hybrid group decision support system approach for the supplier evaluation process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 73, 5-8.

Yazarların Adresleri

Mehmet Akif YERLİKAYA¹, Arş.Gör., Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yükseliş sok., No:846, 03125823823, akifyerlikaya@gazi.edu.tr

Feyzan ARIKAN², Doç.Dr., Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yükseliş sok., No:810, 03125823810, farikan@gazi.edu.tr

Sorumlu Yazar

Mehmet Akif YERLİKAYA¹, Arş.Gör., Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Yükseliş sok., No:846, 03125823823, akifyerlikaya@gazi.edu.tr

Restoration Proposal of a Traditional Ottoman House

Elif Ece YÖNETKEN

Izmir Institute of Technology, Faculty of Architecture, Department of Architectural Restoration, İzmir, Turkey

eyonetken@gmail.com

Abstract The aim of this study is to understand restoration process of traditional Ottoman house. This study examines the case study of “ErdillerEvi” in Kula historic site. This study mentions about aspects to be considered prior to restoration like values, attributes, problems, potentials, conservation approach and also intervention decisions throughout the restoration process. In addition, this paper refers characteristics of a traditional Ottoman house and Kula historic site both at the urban scale and a building scale.

Keywords: Restoration, Kula historic site, Erdiller Evi, traditional ottoman

1 INTRODUCTION

“Erdiller Evi” in Kula historic site is three-storey house. The ground floor has three closed spaces and the sofa and courtyard. In first floor, there are three rooms and sofa. These rooms have a window on street-side. In second floor, there are three rooms that are more embellished than other floors and open sofa. Height of second floor is more than other floors. This floor is used a summer floor.

1.1 Values and attributes

“Erdiller Evi” has a lot of values that are aesthetic value, artistic value, authenticity value, environmental value, economic value, rarity value, memory value, age value, cultural value, architectural value and document value.

1.1.1 Aesthetic value

It means quality and craftsmanship of a building or an artwork that is integral to the building. Experts and/or tourists hold it. Architectural elements in “Erdiller Evi” like cupboards, fireplaces, top windows, ceiling coverings etc. are considered as attributes.



Figure 1. Embellished fireplace



Figure 2. Embellished ceiling covering



Figure 3. "Direklik" (decorated element between seki altı and seki üstü that includes timber posts, ornamented false arch and timber balustrade)

1.1.2 Artistic value

It means quality of the craftsmanship or a directly to artwork that is integral to the building. Experts and/or

tourists hold it. Architectural elements in “Erdiller Evi” like cupboards, fireplaces, top windows, ceiling coverings etc. and woodworking on architectural elements like “kündekari technique” and the tradition of applying *technique*, also being a part of the culture are considered as attributes.



Figure 4. Projection



Figure 5. Embellished ceiling covering



Figure 6. Single winged wooden embellished door

1.1.3 Authenticity value

Authenticity judgements may be linked to the worth of a great variety of sources of information. Aspects of the sources may include form and design, materials and substance, use and function, traditions and techniques, location and setting and other internal and external factors. Experts and/or tourists hold it. Attributes are materials and substance (material usage and technique), location and setting (the building itself in Kula conservation area), traditions and techniques (ornamentations on architectural elements, construction techniques), form and design (sofa – room relations, service spaces and courtyard relationship, street – lot – building relationship).

1.1.4 Environmental value

It means being whole with its original totality, landscape, buildings, planning style, roads and lifestyle. Experts and/or tourists hold it. The building itself in Kula conservation area and street – lot – building relationship can be considered as attribute.



Figure 7. General view of Erdiller Evi from south



Figure 8. Location of Erdiller Evi in site plan

1.1.5 Economic value

It means the monetary value of property as real estate. Local people and municipality hold it. The building itself in Kula conservation area and total lot area are attributes.

1.1.6 Rarity value

It can relate to the occurrence of a building type or technique in an area where it is not commonly found. Attributes are number of storeys and spatial wideness of building.

1.1.7 Memory value

People who use or visit buildings may feel an emotional attachment to them or may be moved by the buildings as a sense of wonder and respect at the artistic achievements in design and craftsmanship. The building itself in Kula conservation area is an attribute.

1.1.8 Age value

It means since the passage of time inevitably sees the loss of historic structures, the older a structure is, the more value is likely to be attached to it. Experts and/or tourists hold it. Patina on architectural elements (cupboards, fireplaces, "sergen", "direklik", top windows, ceiling coverings, shutters, window balustrades), Spatial characteristics and design principles (service spaces and courtyard relationship, street - lot - building relationship, sofa and rooms relations) are attributes.



Figure 9. Physically deteriorated building elements



Figure 10. Physically deteriorated building elements

1.1.9 Cultural value

Buildings provide information on various aspects of a

past period, from lifestyle to the use of materials, crafts and techniques used in their construction. They may continue to play a role in current cultural traditions. Spatial characteristics and design principles (service spaces and courtyard relationship, street - lot - building relationship, sofa and rooms relations), reflecting life style and family structure in terms of usage of spaces ("güsülhane", closed sofa, division into two of building) are attributes.



Figure 11. Güsülhane



Figure 12. Closed sofa

1.1.10 Architectural value

It means the exemplary qualities of design and proportion and the contribution that the architecture of a building has made to the quality of everyday experience is its architectural value. Experts and/or tourists hold it. Spatial characteristics (service spaces and courtyard relationship, street - lot - building relationship, sofa and rooms relations), structural system and construction technique (stone masonry and timber frame walls, usage and application of mud plaster - lime plaster, freestanding roof system, stone slate covering in ground floor and wood covering in the upper floors, architectural elements in Erdiller Evi (cupboards, fireplaces, "sergen", "direklik", top windows, ceiling coverings, shutters, window balustrades..) are attributes.

1.1.11 Document value

Significance of cultural property in understanding the social, economic and technical aspects of post civilizations by analyzing the construction system, material use. Experts hold it. Attributes are Spatial characteristics and design principles (service spaces and courtyard relationship, street - lot - building relationship,

sofa and rooms relations), structural system and construction techniques (stone masonry and timber frame walls, usage and application of mud plaster - lime plaster, freestanding roof system, stone slate covering in ground floor and wood covering in the upper floors. Architectural elements in Erdiller Evi (cupboards, fireplaces, "sergen", "direklik", top windows, ceiling coverings, shutters, window balustrades, projection, "dikme", "gözenek"), reflecting life style and family structure in terms of usage of spaces ("güsülhane", closed sofa).

1.2 Problems

1.2.1 Urban scale

Narrow streets causing vehicle and pedestrian traffic, prevent vehicles such as fire truck approaching the site, migrating from historic site (abandonment) because of abandonment, deteriorations of buildings, municipality's approach to the historic site (evaluate the area for economic and tourism potential), some alterations that causes the losing values of building, Kula does not have enough tourism potential although a lot of tourism attractions around, local people are not considered during decision making process, houses do not carry out the requirements of today's living standards.

1.2.2 Building scale

Structural problems, material deteriorations, restitution problem (restitution does not based on reliable sources), incompatible interventions, lack of maintenance, because of abandonment, alterations (additions, missings, removals, conversions), municipality's approach to the Erdiller evi that is proposed to be a boutique hotel.

1.3 Potentials

1.3.1 Urban scale

Locating in Kula historic site and still protecting urban fabric, narrow streets and not heavy traffic around.

1.3.2 Building scale

Location of building, close to the center, well preserved spatial characteristics and architectural elements of the building, spatial richness, the building has a variety of spaces with different spatial characteristics.

1.4 Conservation approach

Erdiller Evi represents characteristics of traditional Ottoman House to a great extent although it experienced some alterations in the course of time. Those changes from the qualified additions do not disturb the characteristics of the building. Thus, it is proposed to conserve the building with qualified additions. Unqualified additions will be removed. The building

should be re-functioned with a compatible use. The necessities of the proposed function should be solved with minimum intervention.

1.5 Intervention decisions

1.5.1 For alteration

Qualified additions which bears characteristics of the period will be preserved. Unqualified mass additions which are inharmonious with the original characteristics will be removed. Unqualified element additions which are inharmonious with the original characteristics will be removed. Unqualified floor covering additions which are inharmonious with the original characteristics will be removed. Missing will be interfered according to the reliability degrees of restitution. Removals will be interfered according to the reliability degrees of restitution. Conversions will be transformed to original according to reliability degree of restitution.

1.5.2 For reliability degrees of restoration

The building parts that is 1st and 2nd degree reliable degree will be reconstructed according to restitution proposal (with the same material, construction technique, dimension, detail, form...)

The elements or building parts with intermediate and low knowledge of reliability (3th and 4th degree) will not be completed according to the restitution information, they will be completed with modern materials and techniques to be compatible with the structure or preserved as it is now.

Additions for functional and structural necessity. They will be made with modern materials and these will be in harmony with the building and should have minimum impact to the building. Also they will be identifiable.

1.5.3 For structural failures

The structural condition of the building should be analyzed with a civil engineer and the interventions should be decided accordingly. The intervention decisions should be in harmony with existing structural system and should not disturb the values of building.

walls; For cracks; hydraulic lime mortar will be applied. For out of plumb; further investigation is necessary within the expert. If the problem will go ahead, the building will be fixed. If it is not a problem, it will be protected in this state. floors; The sagging will be interfered according to the result of the static report.

roofs; The condition of the roof will be investigated. The structural timber elements of the roof which are rotted will be replaced with the same detail as the same type of wood. Timber elements of roof which are available to use will be cleaned, precautions should be taken against the insects. The roof, which is partly collapsed, must be intervened with the same material and technique.

1.5.4 For material deteriorations

The material deteriorations of the building should be analyzed with a specialist on material and the interventions should be decided accordingly. The intervention decisions should be in harmony with existing materials and should not disturb the values of building.

timber; Loss of wooden material will be completed with the same type of wood. Cracks; will be replaced with using the same kind of material. Rotting; rotting wooden elements will be replaced with using same kind of material. Abrasion of timber

surfaces can be as “patina” which means aging of the exposed surface of materials. Discolorations originate from dust accumulation will be cleaned and originated from aging of material will be preserved.

plaster; Detachment and disintegration of plaster will be replaced with using same kind of material and technique (double layered mudbrick plaster) after blasing.

stone; Plant growths will be cleaned from the surfaces. The courtyard will be cleaned. Cracks; If the cracks don't have any effect to the structural characteristics of the material, they will be preserved as “patina”. If the materials are not fulfilling their functions anymore because of the crack they will be replaced with using the same kind of material. If the stone paces under the “dikme”, it will be protected.

glass; Broken or missing glass will be replaced.

metal; Rust will be cleaned by sandblasting and antipas will be applied.

1.5.5 For function

“Community Center”

Working for Public Benefit

Reviving old crafts, based on production

It is established to contribute to the education and cultural development of the people.

This center will contribute to strengthening the relationships among people living Kula and will always be open to incoming guests at the same time in terms of solidarity and experiencing traditional ottoman house.

Community Center will serve to a local people and visitors. Service personnel (1 for lobby, 1 for eating area, 2 for general cleaning, 1 for library and audiovisual room) will be from Kula or from nearby villages.

Program of the building

Administration

(lobby, manager room)

“lobby” is the area that is close to entrance area on ground floor also the place to people be welcomed.

“manager room” is one of the rooms on ground floor that is closest to entrance area.

Service spaces

(toilet, cafe, storage)

Service spaces will be located on the ground floor.

“cafe” will be for people's snack food and drink needs.

“mechanical room” will be room provided with heating, electric and water system.

Social spaces

(resting area, audiovisual room, exhibition area, courtyard) “courtyard” will be place that gathering people. “audiovisual room” will be a room for the building present itself. In this room, people will be informed about all the changes that the building pass through until today.

“resting areas” will be places that people will use when taking a break.

“exhibition area” will be place that is the part of the material that represents as the result of the active learning process.

Study spaces

(gathering space, çinicilik, keçecilik, halıcılık, active learning will be the part where more practice-based work is done.

“halıcılık” will be place provided training with small carpet weaving looms.

“keçecilik” will be place where the felts are delivered to the finished product.

“çinicilik” will be the place where the tile process is made

passive learning will be the part where more theoretical knowledge is given.

“theory classes” will be classes in which the theoretical knowledge about the studies is given.

“gathering room” will be place that people meet there for educational purpose or relaxing.



Figure 13. Halıcılık



Figure 14. Çinçilik

REFERENCES

- [1] Architectural Conservation: Principles and Practice
- [2] The Nara Document On Authenticity
- [3] Understanding traditional residential architecture in Anatolia by Gül Asatekin
- [4] Analysis of Traditional Building Techniques and Damage Assessment of Traditional Turkish House: The Study of Timber-framed Kula Houses by Mine Tanac Zeren, Ozgul Yilmaz Karaman

Authors addresses

¹ Elif Ece YONETKEN, Izmir Institute of Technology, Faculty of Architecture, Department of Architectural Restoration, İzmir, Turkey
e-mail:eyonetken@gmail.com

Şişen Zeminlerde Katkı Malzemesi Kullanılmasıyla Mikroyapıdaki Değişiklikler (Changes in Microstructure by Using Additives in Swelling Soils)

Nazile URAL

Abstract: Swelling soils emerged as problematic soils during construction of roads, shallow foundations, water channels, pipeline and airports. In this study effects of additives investigated on microstructure in the swelling clay. Standart compaction, swelling tests and scanning electron microscopy analyses conducted in scope of this study.

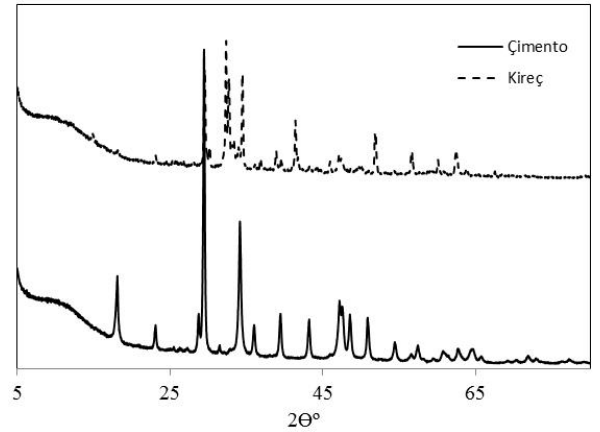
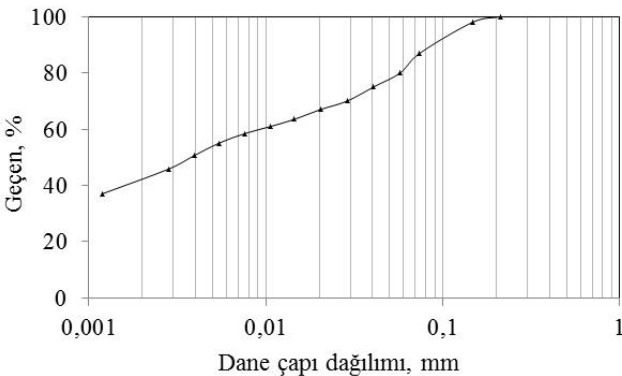
Keywords: Swelling, clay, additives, microstructure

1 GİRİŞ

Şişen zeminler özellikle ulaşım yolları, su kanalları ve boru hatları gibi yüzeye yakın ve hafif yapıların yapımında karşımıza zemin problemi olarak çıkmaktadır. Bu tip geoteknik problemlerinde genellikle, zemin iyileştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Zemin iyileştirme yöntemlerinden ise genellikle katkı malzemesi kullanılarak yapılan iyileştirme yöntemi uygulanmaktadır. Çimento, kireç, uçucu kül veya bazı atık malzemeler kullanılarak zeminin iyileştirilmesi sağlanmakta ve böylelikle dayanımın artırılması, şişme potansiyelinin azaltılması vb gibi geoteknik özelliklerin iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Şişme davranışının katkı malzemeleriyle iyileştirilmesi konusunda çalışmalar bir hayli çoktur [1-5]. Bu çalışmada likit limiti yüksek kilin, kireç ve çimento ile iyileştirilmesinden sonra geoteknik özellikleri ile mikroyapıdaki değişiklikler incelenmiştir. Standart kompaksiyon ve şişme basıncı deneyleri ile taramalı electron mikroskopu (SEM) analizi yapılmıştır.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, şişme basıncı 157kPa olan yüksek plastisiteli kil kullanılmıştır. Şekil 1.' de kilin dane dağılımı verilmiştir. Kilin şişme özelliklerini iyileştirmek amacıyla %4 oranında çimento ve kireç ilave edilmiştir. Çimento ve kirecin X-Ray Difraksiyon (XRD) analiz Şekil. 2' de verilmiştir. Kil ve karışımların optimum su muhtevası (OSM) ve maximum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{dmax}) Tablo 1.' de verilmiştir [6]. Kireç ilavesi ile OSM artmış, γ_{dmax} azalırken, çimento ilavesi ile OSM ve γ_{dmax} azalmıştır.

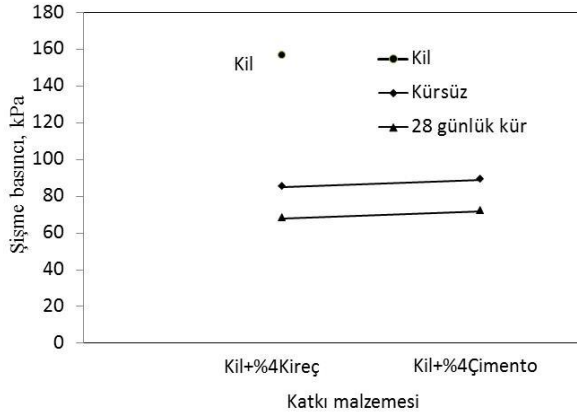


Şekil. 2 Çimento ve Kirecin XRD analizi sonucu

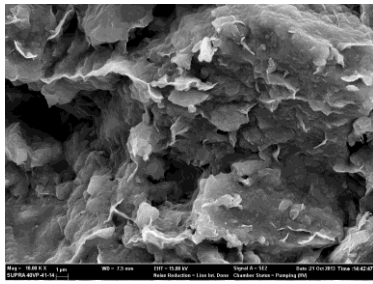
Table 1. Standart kompaksiyon deneyi sonucu ve spesifik yüzey alanı

	OSM	γ_{dmax}	Spesifik Yüzey alanı
Kil	27	14.30	36.91
Kil+%4Çimento	23	13.80	17.70
Kil+%4Kireç	30	13.23	29.30

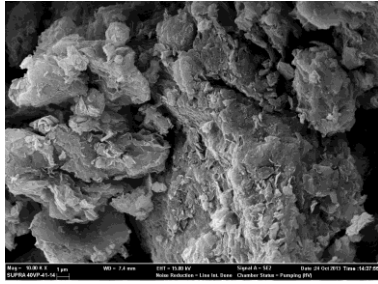
ASTM D-4546[7] 'da şişme davranışlarını ve parametrelerini belirlemek için 3 ödometre yöntemi önerilmektedir. Bu çalışmada, hazırlanan numuneler üzerinde şişme basıncı Metot C' ye göre yapılmıştır. Ödometre halkasına alınan numunenin sabit yükseklikte kalmasını sağlayacak yükleme yapılır. Yüklemede kullanılan ağırlıklar hesaplanarak şişme basıncı hesaplanmaktadır. Kilin ve karışımların kürsüz ve 28 günlük kür sonrası şişme basınçları Şekil 3.' de verilmiştir. Ayrıca kil ve karışımların kürsüz spesifik yüzey alanları Tablo 1.' de verilmiştir. Kilin, spesifik yüzey alanı katkı malzemeleri sonrası azalmıştır. Çimentolu karışımın spesifik yüzey alanı kireçli karışımın spesifik yüzey alanına göre daha düşük bir değerdedir.



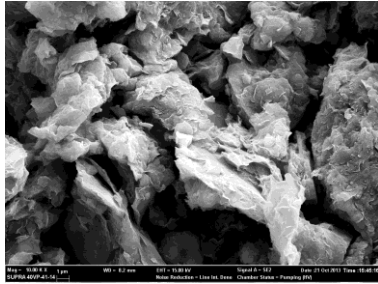
Şekil 3. Kürsüz ve 28 günlük kürde bekletilmiş kil ve karışımların şişme basınçları



Kil

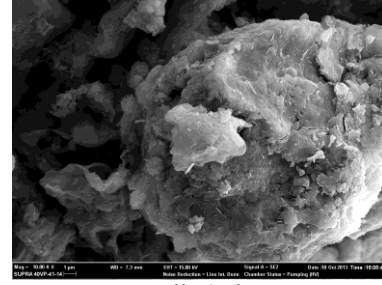


Kil+%4Kireç

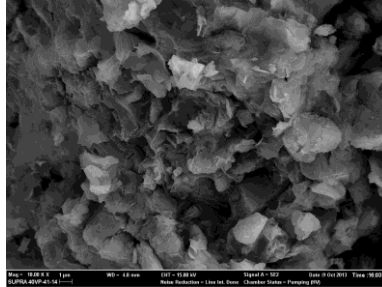


Kil+%4Çimento

Şekil 4. Kürsüz kil ve katkı malzemeli karışımların SEM fotoğrafları (x10000 büyütmeli)



Kil+4Kireç



Kil+4Çimento

Şekil 5. 28 günlük kürde bekletilmiş katkı malzemeli karışımların SEM fotoğrafları (x10000 büyütmeli)

Şekil 4. ve 5.' de kil ve karışımların kürsüz ve 28 günlük kür sonrası SEM analizi sonucunda elde edilen SEM fotoğrafları (x10000) verilmiştir. Kilin, kürsüz çimento katkılı numunede pulsu yapının biraz azaldığı görülmektedir. Horpibulsak vd. 2010 yılındaki çalışmasındaki bulgularla paralellik göstermektedir. Aynı şekilde kürsüz, kireç katkılı numunede pulsu yapının azaldığı görülmektedir. 28 günlük kür sonrası, çimento katkılı numunede flokülasyon sebebiyle pulsu yapı içerisinde boşluklar oluşmuş ve topaklanma görülmüştür. 28 günlük kür sonrası, kireç katkılı numunede flokülasyon daha belirgin bir şekilde görülmektedir. Çimento ve kireç katkılarıyla oluşan reaksiyon birbirine benzemekle birlikte zemin/çimento karışımı numunelerde reaksiyonun gerçekleşmesi için daha uzun süre gerekmektedir.

3 SONUÇLAR

Bu çalışmada, likit limiti yüksek kilin kireç ve çimento ile iyileştirilmesinden sonra geoteknik özellikleri ile mikroyapıdaki değişiklikler incelenmiştir. Standart kompaksiyon ve şişme basıncı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca spesifik yüzey alanı için BET analizi ve SEM analizi yapılmıştır. Şişme basıncı katkı malzemeleri sonrasında, kürsüz numunelerde şişme basıncı yaklaşık %45 oranında azalırken, 28 günlük kür sonrasında şişme basıncında yaklaşık % 56 oranında azaldığı görülmektedir. Kilin, spesifik yüzey alanı katkı malzemeleri sonrası azalmıştır. Ayrıca SEM fotoğraflarından, çimento ve kireç katkısı ile kilin pulsu tabaka içeren içyapısında flokülasyon gözlenmiştir. Çimento ve kireç katkısıyla, kilin şişme basıncında ve içyapısında iyileşme görülmüştür.

REFERANSLAR

- [1] K., Onitsuka, C., Modmoltin, and M., Kouno (2001). Investigation on microstructure and strength of lime and cement stabilized Ariake clay. *Reports of the Faculty of Engineering*, Saga University, Vol. 30(1), pp. 49–63.
- [2] A., Al-Rawas, A., A. W., Hago and H., Al-Sarmi, (2005). Effect of lime, cement and Sarooj (artificial pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman. *Building and Environment*, 40(5), 681–687.
- [3] S., Horpibulsak, R., Rachan, A., Chinkulkijiniwat, and Y., Raksachon (2010). Analysis of strength development in cement-stabilized silty clay from microstructural considerations. *Construction and Building Materials*, 24(10), 2011–2021.
- [4] M. Y., Fattah, F. A., Salman and B. J., Nareeman (2010). A treatment of expansive soil using different additives. *Acta Montanistica Slovaca*, Vol.15 (4), 290-297.
- [5] T. D., Tran, Y-J.,Cui, A. M., Tang, M., Audiguier, and R. Cojean, (2014). Effects of lime treatment on the microstructure and hydraulic conductivity of Héricourt clay. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6, 399–404.
- [6] ASTM D698 (2000). Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, Annual book of ASTM Standards West Conshohocken PA Vol.15.09, 2000.
- [7] ASTM D4546 (2003). Standard test methods for one-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils, Annual Book of ASTM Standarts, 04.08:992-1001.

Yazar Adresi

Nazile,URAL, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
Gülümbe Kampüsü 11210

İlgili Kişi

*Nazile,URAL, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
Gülümbe Kampüsü 11210

Siltli Zeminlerin Mikroyapısında Kilin Etkisi (Effects of Clay on Microstructure Silty Soils)

Nazile URAL

Abstract: It is known that microstructure effects mechanical properties of soils. Silty soils often emerges as low resistance. Silty and different clay percentages mixed to prepare samples for laboratory. In this study standart compaction and mercury intrusion porosimetry test analyses conducted for effects of clay investigated on microstructure of silty soils.

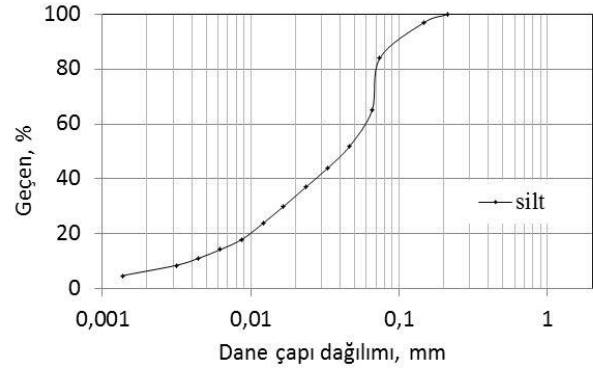
Keywords: Clay, silt, microstructure

1 GİRİŞ

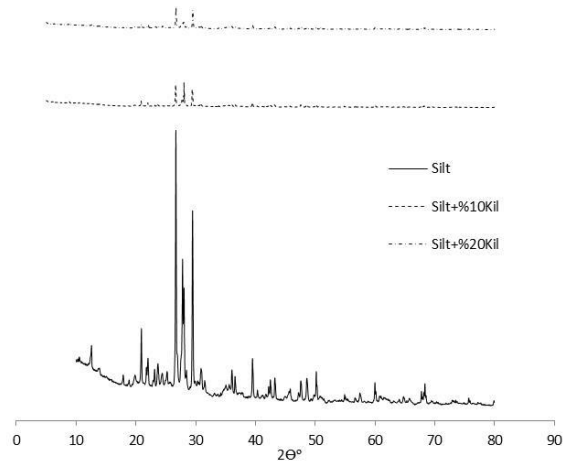
Geoteknik mühendisliğinde kil çok önemli bir malzemedir. Kil zemin, çakıl, kum ve silt ile karıştırıldığında zeminlerin fiziksel, mekanik ve fiziko-kimyasal özelliklerini değiştirmektedir. Bununla birlikte killerin mineral yapısının farklılığından dolayı zemin özelliklerinde meydana getirdikleri değişiklikler farklı olmaktadır. Örneğin likit limiti çok yüksek bir kil ile likit limiti düşük olan iki farklı kil aynı zemine eklendiğinde fiziksel, mekanik ve fiziko-kimyasal özellikleri çok farklı olacaktır. Kil minerallerinin elektrokimyasal olarak çok aktif olması onların spesifik yüzey alanını doğrudan etkilemektedir [1]. Kil minerallerinin spesifik yüzey alanı ise zeminin flokulasyon veya dispersiyon olup olmasını etkilemektedir. Killerin bu özellikleri zeminin geoteknik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, zeminlerin geoteknik özelliklerini boşluk çapı dağılımı, pH, ζ -potansiyeli gibi fiziko-kimyasal özelliklerde etkilemektedir. Geçmiş yıllarda zeminin mikroyapısına killerin etkisi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır [2-5]. Bu çalışmada, siltli bir zemine %10 ve %20 oranlarında likit limiti yüksek (CH) olan killi zeminin karıştırılmasıyla zeminin mikroyapısındaki değişiklikler incelenecektir.

2 MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmada, likit limiti 32, plastisite indisi nonplastik olan düşük plastisiteli silt (ML) ve likit limiti 103, plastisite indisi 65 olan kil (CH) kullanılmıştır. Şekil 1.'de siltin dane çapı dağılımı verilmiştir. Kil silte %10 ve %20 oranlarında karıştırılmıştır. Elde edilen karışımlar üzerinde standart kompaksiyon deneyi [6] yapılarak numuneler hazırlanmıştır. Tablo 1.'de kil ve karışımların optimum su muhtevası (OSM) ve maximum kuru birim hacim ağırlığı (γ_{dmax}) verilmiştir. Kil yüzdesi arttıkça, OSM artmış, γ_{dmax} azalmıştır. Şekil 2.'de silt ve karışımların X-Ray Difraksiyon (XRD) analiz sonuçları verilmiştir. Ayrıca, boşluk çapı dağılımını belirlemek için civalı porozimetre deneyi yapılmıştır. Tablo 2.'de toplam boşluk oranı ve Şekil 3.'de boşluk çapı dağılımı verilmiştir. Kil yüzdesi arttıkça toplam boşluk oranı artmıştır. Ayrıca karışımların SEM fotoğrafları (x1000) Şekil 4.'te verilmiştir.



Şekil 1. Siltin dane çapı dağılımı



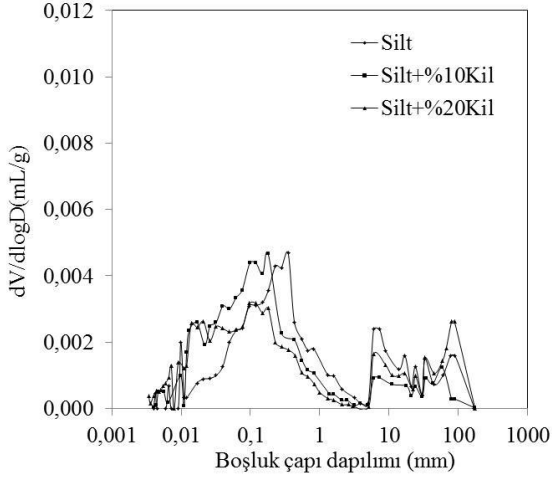
Şekil 2. Karışımların XRD analiz sonuçları

Tablo 1. Karışımların standart kompaksiyon deney sonuçları

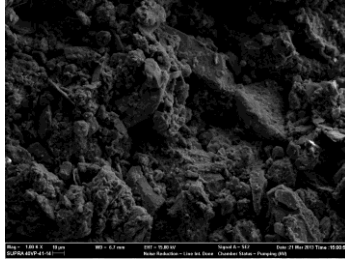
	OSM	γ_{dmax}
Silt	12.25	16.63
Silt+%10Kil	13.50	16.55
Silt+%20Kil	18.50	16.45

Tablo 2. Karışımların toplam boşluk oranı

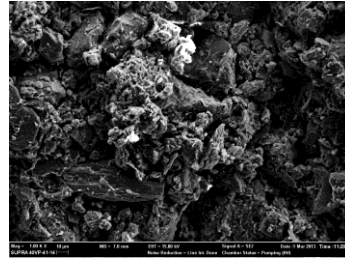
	Toplam boşluk oranı, m ² /g
Silt	3.711
Silt+%10Kil	9.070
Silt+%20Kil	11.350



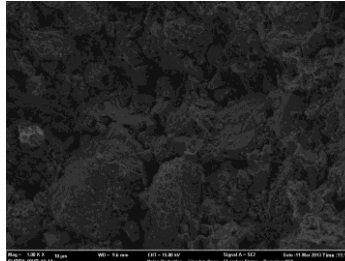
Şekil 3. Boşluk çapı dağılımı



Silt



Silt+%10Kil



Silt+%20Kil

Şekil 4. SEM fotoğrafları (x1000)

3 SONUÇLAR

Bu çalışmada, siltli zemine %10 ve %20 oranlarında likit limiti yüksek olan killi zeminin karıştırılmasıyla zeminin mikroyapısındaki değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla, standart kompaksiyon deneyi ile numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde, XRD analizi, civalı porozimetre deneyi ve SEM analizi yapılmıştır. Civalı porozimetre deneyinden, silte kil eklenmesiyle toplam boşluk oranının arttığı gözlenmiştir. Ayrıca SEM fotoğraflarından kil yüzdesinin artmasıyla zeminin yapısında flokülasyon gözlenmektedir. Sonuçta, kilin mineralojisi ve yüzdesi silt zeminin mikroyapısını etkilemiştir.

REFERANSLAR

- [1] J.E., Bowles, (1984). Physical and Geotechnical Properties of Soils, McGraw-Hill: New York.
- [2] B., Grabowska-Olszewska (1970) Physical properties of clay soils as a function of their specific surface. Proceedings of the 1st International Congress of the International Association of Engineering Geology, pp. 405 – 410.
- [3] H., Tanaka, D. R., Shiwakoti, N., Omukai, F., Rito, J., Locat and M., Tanaka (2003). Pore size distribution of clayey soils measured by mercury intrusion porosimetry and its relation to hydraulic conductivity. *Soils and Foundations*, Vol.43, No.6, 63-73.
- [4] D. M., Hadi (2004). Influence of compaction condition on the microstructure of a nonplastic glacial till. *IJE Transaction B:Applications*, Vol.17, No.3, 227-236.
- [5] A., Prashant and D., Penumadu (2007). Effect of microfabric on mechanical behavior of kaolin clay using cubical true triaxial testing. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 133, No. 4, 2007, pp. 433-444.
- [6] ASTM D698 (2000) Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort.

Yazar Adresi

Nazile, URAL, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
Gülümbe Kampüsü 11210

İlgili Kişi

*Nazile, URAL, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi,
Gülümbe Kampüsü 11210

Biyomalzemelerde Biyouyumluluk Test ve Yöntemlerinin Analizi

Ayhan Erol¹-Ahmet Yönetken²-Okan Aytuğ Kuloğlu³

Özet

Bilindiği üzere bir malzemenin biyomalzeme olarak sınıflandırılabilmesi için biyouyumlu olması gerekmektedir. Malzemelerin biyouyumlu olması için de in vivo ve in vitro testlerden geçmelidir. Aşınma, basma, çekme, korozyon dayanımı gibi mekanik ve kimyasal testlerin yanı sıra vücut-malzeme uyumu, malzemenin vücut içinde davranışları bu testlerin kapsamındadır. Bu çalışmada biyouyumluluk testleri olan in vivo ve in vitro testleri teorik olarak irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Biyouyumluluk, Biyomalzeme, İn Vivo, İn Vitro.

1. GİRİŞ

Biyouyumluluk, bir materyalin uygulandığı bölgede uygun biyolojik cevabı oluşturabilmesi olarak tanımlanır. Biyouyumluluk konusundaki geleneksel Yaklaşım, materyalin vücut dokuları üzerinde önemli yan etkiler oluşturmaması olarak ifade edilebilir. Daha doğru yaklaşım ise “çevreleyen biyolojik ortamla uyumlu bir etkileşim sergileyecek kimyasal yapıdaki materyallerin seçilmesi veya üretilmesidir [1].

Biyolojik testler için farklı basamaklar ve bunlara uygun test yöntemleri tanımlanmıştır. Başlangıç deneyleri, hemoliz, hücrel ve sistemik toksisite yöntemleriyle materyalin toksik profilini ortaya koymaktadır. İkincil testler, in vivo implantasyon çalışmaları, oral muköz membran iritasyon veya sensitizasyon testlerini içermektedir. Son aşamada materyalin asıl kullanım alanındaki klinik performansı değerlendirilmektedir [1].

Materyallerin biyolojik özelliklerinin test edilmesine genellikle hücre kültürlerinin kullanıldığı basit in vitro test yöntemleri ile başlanır. Değerlendirmelere hayvan testleri ile devam edilir, bu testlerden istenilen sonuçlar elde edildiğinde kullanım testleri (in vivo değerlendirme) gibi daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır [2].

2. BİYOMALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

2.1. Metaller

Metaller, kuvvete karşı yüksek mukavemet göstermeleri, yüksek yorulma dirençleri ve kırılma öncesinde plastik deformasyona uğramamaları,

ayrıca iyi elektrik ve ısı iletkenlikleri ve mekanik özelliklerinden dolayı en yaygın olarak kullanılan biyomalzemelerdir. Bazı metaller mükemmel mekanik dayanımları ve korozyona olan dirençlerinden dolayı total kalça ve diz eklemleri, kemik kırıklarının iyileştirilmesinde kullanılan plak ve vidalar, omurga fiksasyon aletleri ve dental implantlar gibi sert doku tedavilerinde pasif substitütif olarak kullanılmaktadır. Ayrıca bazı metal alaşımları da vasküler stent, kateter guide teli, ortodontik ark teli ve kohlea implantlarında kullanılmaktadır. Metalik implantların biyouyumlulukları oldukça tartışmalıdır. Çünkü bu implantlar vücut içinde korozyona uğrayabilmektedir. Korozyonun sonucunda implant materyali kendiliğinden bozunmakta ve korozyonun zararlı ürünleri çevredeki doku ve organlara etki etmektedir. [3]

a. Cerrahi Paslanmaz Çelikler

Cerrahi amaçlı paslanmaz çelikler Fe-Cr-Ni alaşımlarıdır. Krom hem korozyon direncini artırır hem de ısıl direnç kazandırır. Daha önceleri kullanılan 18/8 çeliğinin yerini bugün daha çok kullanılan 316L alaşımı almıştır. İmplant malzemesi olarak yaygın biçimde kullanılan 316 ve 316L alaşımlarının içyapısı östenittir. 316L daha az karbon içermektedir. Karbon oranı azaltılarak korozyon direnci iyileştirilmiştir. Yüzeyde oluşan kromoksit tabakası pasifleşmeyi sağlayarak, bu çeliğin kullanılabilirliğini yükseltmektedir. Yüzeyde oluşan pasif tabaka, titanyum ve kobalt alaşımlarındaki kadar kuvvetli değildir.[4]

b. Titanyum Bazlı Alaşımlar

Titanyum, 316L paslanmaz çelik ve kobalt alaşımlarına göre daha hafiftir. En çok Ti6Al4V

alaşımı kullanılmaktadır. Titanyumun biyolojik uygunluğu, korozyon direncinin yüksek oluşu ve elastisite modülünün kemiğin elastisite modülüne yakın olması sebebi ile uzun ömürlü implantlara imkan sağlamaktadır. Yoğunlukları düşüktür (4.5 g/cm³) Isıl işleme özellikleri iyileştirilebilir.[4]

c. Kobalt Bazlı Alaşımlar

Bu alaşımlar, kobalt-krom ve kobalt-krom-nikel-molibden alaşımlarıdır. Ağırlıkça % 65 kobalt içerirler. Molibden ince taneli bir yapı sağlayarak mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Co-Cr-Ni-Mo ve Co-Cr alaşımı, Diz ve kalça gibi daha çok yük taşıyan eklem yerlerindeki protezlerde kullanılmaktadır. Elastisite modülü paslanmaz çelikten daha büyüktür. Co-Cr-Mo alaşımı döküm alaşımıdır, daha ince taneli bir içyapı elde etmek için molibden ilave edilmiştir. Molibden ilavesi ile dayanımı yükseltilmiştir. Krom da, katı çözelti yaparak dayanımı artırır. Sıcak dövülerek şekillendirilen Co-Cr-Ni-Mo alaşımının üstün aşınma, yorulma ve çekme dayanımı vardır. Yorulma dayanımı da Ti 550 alaşımından daha üstündür. Dökme ve dövme alaşımları yüksek korozyon direncine sahiptir.[4]

d. Tantal Bazlı Alaşımlar

Tantalın elastiklik modülü kemiğin elastiklik modülüne yakındır. Korozyona direnci ve biyolojik uyumu çok iyidir. Aşırı derecede gözenekli yapıda kullanılan bir implant malzemesidir. Mekanik dayanımı düşüktür. Alaşımlama ile mekanik özellikleri artırılabilir. Yoğunluğunun yüksek olması kullanımını kısıtlamaktadır. En önemli uygulaması plastik cerrahisinde ameliyat ipliği olarak kullanımıdır.[4]

e. Dental Amalgam

Amalgam, bileşenlerinden biri cıva olan alaşımdır. Diş dolgu malzemesi olarak kullanılır. Diğerleri; altın, platin ve nikel-titanyum alaşımıdır. Altın soy bir metal olup, korozyon direnci yüksektir. Alaşımlama ile mekanik özellikleri yükseltilmektedir. Dişçilikte kaplama malzemesi olarak kullanılır. Platinin. korozyon direnci yüksektir, ama mekanik özellikleri düşüktür. Platin ve diğer soy metaller kalpte atınımın başlamasını uyaran otonom merkezde elektrod olarak kullanılmaktadır. Ni-Ti alaşımları, şekil hafızalı alaşımdır. Diş köprüleri, kafatası damar

bağlantılarında, yapay kalp kası ve ortopedik protezlerde kullanılır.[4]

2.2. Polimerler

Biyomalzemelerin en önemli grubu polimerik biyomalzemelerdir. Polimerler, protez malzemeleri, dental malzemeler, örtü materyalleri, implant, ilaç salım sistemleri ve doku mühendisliği ürünleri gibi birçok medikal uygulamada oldukça sık kullanılmaktadır. [3]

a. Polietilen (PE)

Tıbbi uygulamalarda çoğunlukla yüksek-yoğunluklu polietilen (HDPE) kullanılır. Bunun nedeni sterilizasyon sırasında oluşan sıcaklığın düşük yoğunluklu polietileni eritmesidir. PE, plastik cerrahide, kateterlerde ve yapay kalça protezlerinde kullanılır. Düşük maliyetli ve yağlara karşı dirençlidir.[5]

b. Polipropilen (PP)

Polietilen ile benzer özellikler gösterir. Daha sert bir polimerdir, polietilenin kullanıldığı birçok uygulamada polipropilenden faydalanılabilir.[5]

c. Polimetil metakrilat (PMMA)

Hidrofobik bir polimerdir. Oda sıcaklığında camsı halde bulunur. Lucite ve Plexiglas ticari isimleri ile tanınır. Işık geçirgenliği ve kararlılığı nedeniyle göziçi lensler ve kontakt lenslerin üretiminde kullanılır. Çeşitli işlemler ile çaprazbağ içeren hidrojel formu elde edilir. Bu form bozunmaya dirençlidir ve vücut tarafından emilmez.[5]

d. Polivinilklorür (PVC)

Tıbbi olarak kan nakli, diyaliz ve beslenme amaçlı uygulamalarda tüp formunda kullanılır.[5]

e. Poliüretan (PU)

Kan ile yüksek uyumluluk gösterirler bu nedenle yapay kalp ve damar uygulamalarında tercih edilir.[5]

f. Polikarbonat (PC)

Bisfenol A ve Fosgenin polimerizasyonu sonucu sentezlenir. Sert bir malzeme olması nedeniyle

yüksek dayanıma sahiptir. Gözlük camlarında, kalp-akciğer makinelerinde ve solunum cihazlarında kullanılır.[5]

g. Politetrafloroetilen (PTFE)

Daha çok ticari adı ile tanınır: teflon. Oldukça kararlı, işlenmesi zor ve hidrofobik bir malzemedir. Yüksek kayganlığa sahiptir. Gore-Tex olarak bilinen formu damar protezlerinde kullanılır.[5]

h. Polilaktik Asit (PLA)

Yarı kristalin ya da amorf yapıda olan, rijit termoplastik ve alifatik polimerlerdir. Biyo çözümlü yapay tendon parçası olarak kullanıldığı gibi bağ doku, tendon yapıları, vasküler ve ürolojik cerrahi için olan stent uygulamalarında da kullanılır.[5]

2.3. Seramikler

Klinik uygulamalarda biyoseramiklerin kontrollü implantasyonu 18.yy'da diş kronlarında porselenin kullanılmasıyla başlamış ve 19.yy'da ortopedide kemik doldurmak için alçı ya da alçıtaşının kullanılmasıyla devam etmiştir. 20.yy'da seramik teknolojisindeki ilerleme ile medikal uygulamalarda kullanılan daha ileri teknoloji seramikleri mevcut hale gelmiştir. Biyoseramikler genellikle 'biyoaktif' (kalsiyum fosfat, cam, seramik vb.) ve 'biyo inert' (alümina, zirkonya, pirolitik karbon vb.) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır.[3]

a. Alümina

Yüksek yoğunluk ve yüksek saflığa (>%99.5) sahip alümina, korozyon direnci, yüksek dayanımı ve iyi biyouyumluluk özelliğinden dolayı, kalça protezlerinde ve diş implantlarında yaygın kullanıma sahiptir. Bu uygulamalarda kullanılan alümina, iri tane yapısına sahip polikristalin alfa-Al₂O₃'ün, 1600-1700°C sıcaklıkta sinterlenmesi sonucu elde edilir. Alümina, 20 yılı aşkın süredir ortopedik uygulamalarda kullanılmaktadır.[6]

b. Zirkonya

Zirkonya da, alümina gibi bulunduğu fiziksel ortam üzerinde inert etki gösterir. Çok daha yüksek çatlama ve bükülme direncine sahip olan zirkonya, uyluk kemiği protezlerinde başarıyla kullanılmaktadır. Ancak uygulamalarında üç önemli

problemlerle karşılaşılmaktadır; Fizyolojik sıvılar nedeniyle zamanla gerilme direncinin azalması, kaplama özelliklerinin zayıf oluşu ve potansiyel radyoaktif malzemeler içermesi. Zirkonya içerisinde yarı lanma ömrü çok uzun olan radyoaktif elementler bulunur (uranyum, toryum, vb). Bu elementleri yapıdan ayırmak çok zor ve pahalı işlemler gerektirir. Radyoaktivite alfa ve gama etkileşimi olarak ortaya çıkar ve alfa parçacıkları, yüksek iyonlaştırma kapasitesine sahip olduklarından, yumuşak ve sert doku hücrelerini tahrip etme olasılığına sahiptir. Radyoaktivite düzeyi düşük olduğunda da bu etkinin uzun süreli sonuçlarının incelenmesi gerekmektedir.[6]

c. Kalsiyum-Fosfat (Ca-P) Seramikler

Kalsiyum ve fosfat atomlarının çoklu oksitleri şeklindeki yapılardır. Hidroksiapatit (HA:Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂), Trikalsiyum fosfat (Ca₃(PO₄)₂) ve Oktakalsiyum fosfat (Ca₈(PO₄)₆(OH)₂) bu yapılara örnek verilebilir. Kalsiyum fosfat bazlı biyoseramikler, tıpta ve dişçilikte 20 yıldan beri kullanılmaktadır. Bu malzemeler, ortopedik kaplamalar ve diş implantlarında, yüz kemiklerinde, kulak kemiklerinde, kalça ve diz protezlerinde "kemik tozu" olarak kullanılmaktadır. Kalsiyum fosfat seramiklerin sinterlenmesi, genellikle 1000-1500°C'de gerçekleşir ve bunu istenilen geometride sıkıştırılması izler. Tüm kalsiyum fosfat seramikleri, değişen hızlarda biyolojik olarak bozunurlar. Hidroksiapatit biyoseramiklerin bir diğer kullanım alanı ise oküler implant uygulamasıdır. Biyoygunluk ve toksik olmama gibi özellikler, hidroksiapatiti oküler implant uygulaması için ideal bir biyomalzeme yapmaktadır.[6]

d. Cam ve cam-seramikler

Camlar, silika (SiO₂) bazlı malzemelerdir. Cam seramikler, Lityum/Alüminyum veya Magnezyum/Alüminyum kristalleri içeren camlardır. Biyocamdaysa, silika gruplarının bazıları kalsiyum, fosfor veya sodyumla yer değiştirmiştir (SiO₂, Na₂O, CaO, P₂O₅). Böylece doku-implant arasında kimyasal bağlanma gerçekleşir. Biyoaktif camlar ilk kez Hench ve arkadaşları tarafından geliştirilmiştir.[6]

3. TESTLER

Geçmişte materyallerin biyoyumluluk değerlendirmelerinde insanlar üzerinde yapılan testler kullanılmıştır. Ama günümüzde yeni bir materyalin insanlarda uygulanmadan önce geniş kapsamlı testler ile biyoyumluluğunun değerlendirilmesi gerekmektedir. Materyallerin biyolojik özelliklerinin test edilmesine genellikle hücre kültürlerinin kullanıldığı basit in vitro test yöntemleri ile başlanır. Değerlendirmelere daha pahalı ve uzun zaman gerektiren hayvan testleri ile devam edilir. Bu testlerden istenilen sonuçlar elde edildiğinde kullanım testleri (in vivo değerlendirme) gibi daha kapsamlı çalışmalar yapılmalıdır. Uygulanan testlerin avantaj ve dezavantajları Tablo 1’ de gösterilmektedir. [2]

Tablo 1. Biyoyumluluk test yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları [2].

Test	Avantaj	Dezavantaj
In vitro	Hızlı uygulama Ucuz Standardize edilebilir Deney ortamının kontrolü kolaydır Geniş bir skalada değerlendirme yapılır	In vivo ortamla ilişkisi tartışmalıdır
Hayvan testleri	Karmaşık sistemik etkileşimler tespit edilebilir In vitro testlere göre daha geniş kapsamlı ve daha gerçekçidir	Kullanılan materyalle ilişkisi tartışmalıdır Pahalı Etik açıdan tartışmalıdır Kontrolü zor Sonuçların değerlendirilmesi zordur
Kullanım testleri	Kullanılan materyalin dokularla ilişkisi belirler	Çok pahalıdır Daha fazla zaman Etik açıdan daha fazla tartışmalıdır Kontrolü zor olabilir Sonuçların değerlendirilmesi zordur

3.1. Hücre Kültürü

Hücre kültürü yönteminin temel ilkesi, canlı dokulardan alınan parçaların in vitro koşullarda yaşama ve üremelerini sağlamaktır. Tüp, şişe gibi laboratuvar gereçlerinde uygun besleyici sıvıların içinde üretilerek kullanılan canlı dokulardır. Bu amaçla çeşitli canlıların (insan, maymun, fare, tavşan gibi) çeşitli dokuları (böbrek, akciğer, tümör, amniyon zarları) önce parçalanarak tek tek hücrelere ayrılırlar. Bu hücreler çeşitli tuzlar, tampon maddeleri, amino asitler, vitaminler, dana veya at serumu içeren besleyici sıvılarda süspanse ederek steril tüp veya şişelere koyulur. Bu hücre süspanasyonu 36 °C’de bekletildiğinde hücreler

kabın çeperine yapışarak ürerler. Üreme sonucunda oluşan yapıya hücre kültürü denir [2].

Hücre kültürü çalışmalarında iki tip hücre kullanılır. Bunlar primer hücreler ve devamlı hücre hatlarıdır. Primer hücre kültürleri doku ve organlardan ayrılan hücrelerin 24 saatten daha uzun süre kültür edilmesiyle elde edilir. Diş eti ve pulpa fibroblastları, primer kültür hücrelerine örnektir. Primer hücre kültürlerinde çoğalan hücreler buradan alınıp başka kültürler ekilebilir ve çoğaltılabilir. Bu şekilde elde edilen ilk alt kültürler sekonder hücre kültürleri denir ve bir seri kültür işlemlerinden sonra hücre hatları elde edilir. Fakat primer kültürlerin insandan izole edilmesi ve kültürünün yapılması oldukça zordur. Primer kültürler farklı bireylerden alındığı için fonksiyonel durumları yansıtması farklıdır. Devamlı hücre hatları süresiz çoğalabilme özelliğine sahip transformasyona uğramış primer hücrelerdir ve daha stabil bir fenotipe sahiptir. Devamlı hücreler meydana gelen transformasyondan dolayı in vivo özelliklerinin tümünü koruyamazlar. Devamlı hücre hatları kolaylıkla çoğaltılabilir. Çalışmalarda sıklıkla kullanılan devamlı hücre hatları fare fibroblastları (L-929, 3T3) veya insan epitel hücreleridir (HeLa). Ayrıca çalışmalarda insan ve hayvan pulpa hücreleri, insan THP-1 monositleri ile immortalizasyon odontoblast hücre hatlarında kullanılmaktadır [2].

3.2. Sitotoksosite

Uygulanan materyalin hücrenin yaşamına olan etkisi biyoyumluluğu belirleyici etkidir. Sitotoksosite moleküler olaylar sonucu çeşitli makromoleküllerin sentezlenmesinin engellenmesi ve buna bağlı olarak hücrenin fonksiyonlarında ve yapısında belirgin hasarlar meydana gelmesi olarak tanımlanır. Sitotoksosite testlerinde hücre kültürleri kullanılarak olası toksikolojik reaksiyonlar in-vitro olarak değerlendirilmektedir. Sitotoksosite testleri[2]:

- Hücre canlılığı ve ölümü
- Hücre membranı
- Hücre organelleri
- Protein veya DNA sentezi
- Hücre bölünmesi ile ilgili detaylı bilgiler verir.

Test edilecek materyalin fiziksel özelliği ve hücreler ile temas yöntemi önemlidir. Hücre ile materyalin teması direkt, indirekt veya ekstrakt yolu ile gerçekleştirilebilir. Testlerin belirli standartlara uygun olarak yapılabilmesi için ISO, bazı kriterler belirlemiştir. ISO 7405, diş hekimliğinde kullanılan medikal materyallerin klinik öncesi biyouyumluluk değerlendirmesi için önerilen test protokollerinden bir tanesidir. Bu protokolde agar difüzyon ve filtre difüzyon metotları detaylı olarak anlatılmaktadır. ISO 10993, medikal ürünlerin biyolojik olarak değerlendirilmesi için farklı metotların önerildiği diğer bir test protokolüdür. Bu standardın asıl amacı belirttiği yöntemlerle insanların korunmasıdır. ISO 10993-5 in vitro sitotoksite testleri için önerilen genel bir test protokolüdür. Kontak süresi uygulanan testler için önemlidir ve ISO 10993 tarafından 24 saatten daha kısa süreler sınırlı kontakt, 24 saat-30 gün arası uzatılmış kontakt ve 30 günden daha uzun olanlar ise sürekli kontakt olarak tanımlanmıştır. İn vitro sitotoksite değerlendirmelerinde ISO standartlarında geçen test metotları ile birlikte önerilen test metotları şunlardır[2]:

a. Direkt hücre kültürü

Direkt temas testinde dental materyal veya bileşenlerinin doğrudan kültür içerisindeki hücrelerin üzerine kısa sürelerde(> 24 saat) uygulanmasıdır. Direkt temas yoluyla yapılan teste materyal hücreler ile veya kültür medyumunu ile fiziksel bir temas halindedir. Suda çözünebilir materyaller medyum içerisinde çözünebilirler ve böylece çok iyi bir materyal hücre teması sağlanır. Suda çözünmeyen materyallerde ise birkaç yolla hücreler ile direkt temas sağlanabilir. Bu temas[2]:

1. Test örneğinin hücrelere mümkün olduğunca yakın yerleştirilmesi ile,
2. Test örneğinin kullanılan hücrelerin tam üzerine uygulanması ile,
3. Test örneğinin hücre kültür kabının tabanına yerleştirilmesi ve hücre süspansiyonunun örnek üzerine uygulanması ile,
4. Hücrelerin direkt olarak örnekler üzerine yerleştirilerek kültür edilmesi metotları ile sağlanır.

Ekstrakt yolu ile temas testinde bir sıvı çözücü içerisinde materyalden çözünen bileşenlerin

hücreler ile temas ettirilerek sitotoksitesi incelenmektedir. Ekstraksiyon sıvısı olarak adlandırılan bu sıvı çözücüler serum içeren medyum, serum içermeyen medyum, fizyolojik tuz solüsyonu veya diğer uygun çözücülerden biri olabilir[2].

Ekstraksiyon ortamı, materyalin toksikolojik riskinin doğru belirlenebilmesi için materyalin klinik kullanım ortamını taklit etmesi ve bu ortamın materyalin kimyasal yapısında önemli değişiklikler yapmaması gerekmektedir. Ekstrakt içinde maddelerin konsantrasyonu ve hücrelere temas edecek materyalden salınacak bileşenlerin oranı ekstraktı alınan materyalin; yüzey alanına, ekstraksiyon sıvısının hacmine, materyalin pH'sına, kimyasal çözülebilirliğine, difüzyon oranına, osmolaritesine, ısıya, zamana ve diğer faktörlere bağlıdır. Önerilen ekstraksiyon ortamları:

- a) 24 saatten az olmamak üzere 37 ± 2 °C
- b) 72 ± 2 saat 50 ± 2 °C
- c) 24 ± 2 saat 70 ± 2 °C
- d) 1 ± 0.2 saat 121 ± 2 °C

b. Bariyer test metodu

Ağız ortamında dentin, kaviteye uygulanan materyal ile pulpa arasında bariyer görevini üstlendiği için direkt materyal-hücre teması testleri klinik durumu taklit etmemektedirler. Bu nedenle bariyer test metodunda dentini taklit eden ve dentin gibi test materyali bileşenlerinin difüzyonuna izin veren çeşitli maddeler bariyer olarak kullanılırlar. Son yıllarda geliştirilen ve ticari olarak pazarlanan hücre kültür insert sistemleri bariyer olarak kullanılmaktadır. Bu sistemde materyal insert içine yerleştirilerek asılı bir şekilde medyum içinde tutulur. Bariyer görevi gören ve insertin alt kısmında bulunan poröz bir membran materyalden çözünen bileşenlerin geçişine olanak sağlayarak medyum tabanında bulunan hücrelerle temas etmesini sağlar[2].

c. Agar Difüzyon Testi

Agar difüzyon testi, toksisite deneylerinde en uzun süredir kullanılan bariyer test yöntemidir. Bu yöntem ile fare fibroblast (L929) hücrelerinin üzerini örten % 1,5' luk agar besiyerinden difüze

olan test materyalleri bileşenlerinin toksisitesi incelenir. 24 saatlik inkübasyon süresi sonucu nötral kırmızı boyanın, hücre membranındaki geçirgenliğine bağlı olarak, lizozomlarda birikme miktarına göre hücre aktivitesini değerlendiren bir test metodudur. Hücrelerdeki dekolizasyon ve liziz değerlendirilerek materyallere karşı gelişen yanıtlar incelenir. Basit ve ucuz bir yöntem olmasına rağmen agarda çözünemeyen veya difüze olamayan test materyali veya bileşenleri hücreler üzerinde her hangi bir etki gösteremezler[2].

d. Milipor Filtre Difüzyon Testi

Milipor filtre metodunda filtre olarak selüloz asetat kullanılır. Filtrenin bir tarafına primer hücreler yerleştirilirken filtrenin diğer tarafına test materyali yerleştirilir. Hücrelerde meydana gelen hasarlar dekolizasyon alanının ölçülmesi ile veya boyanma yoğunluğunun incelenmesi ile tespit edilir. Test materyallerin, hücre üzerinde sitotoksik etki göstermesi için test materyalinden salınan bileşenlerin 0.45 µm filtreden difüze olmaları gerekmektedir[2].

e. Dentin Bariyer Testi

Sitotoksosite testlerinde bariyer olarak farklı materyaller kullanılmıştır. Dentin bariyer testlerinin geliştirilmesi sitotoksosite testlerini tamamlayan bir metottur. 1974 yılında geliştirdikleri bölümlü oda (split chamber) aleti ile dentinin geçirgenlik özelliğini incelemişler ve materyallerin biyolojik uyumluluklarının değerlendirilmesinde dentinin geçirgenlik özelliğinden yararlanılması fikrini ortaya atmışlardır. Araştırmacılar geliştirdikleri dentin bariyer test cihazları ile materyallerin biyolojik özelliklerini incelemişlerdir. Test cihazlarının farklı materyallerden yapılması ve farklı boyutlarda olması ayrıca ticari olarak satılmamaları bu cihazların standart test uygulamalarında kullanılmasını engelleyen faktörlerdir. Bu nedenle dental materyallerin sitotoksosite değerlendirmelerinde kullanmak için hücre kültür testlerinde kullanılan perfüzyon cihazında bazı değişiklikler yapmışlardır. Orjinal perfüzyon odasındaki membran yerine dentin diski kullanmışlardır. Kullanılan dentin diski insan veya sığır dişlerinden kesilerek hazırlanmış farklı kalınlıklardaki dentin disklerinden oluşabilir. Bu dentin diskinin pulpaya bakan tarafı asitle dağlanmıştır. Dentin diski bölümlü odaya biyolojik

olarak uyumlu paslanmaz çelik bir tutucu ile yerleştirilir[2].

Böylece bu oda dentin diski ile iki bölüme ayrılır. Hücreler dentin diskinin asitle dağlanmış tarafında üretilir ve hücrelerin üretildiği bu kısım pulpa tarafı (alt oda) olarak tanımlanır. Uygulanacak test materyali silikon bir tüp içinde dentin diskinin üst kısmına uygulanır.

Materyalin uygulandığı bu kısım kavite bölümü olarak tanımlanır. Cihazın pulpa bölümü bir taraftan medyum şişesine bağlı diğer tarafı ise peristaltik pompa ve atık medyumun toplandığı şişeye bağlıdır[2].

3.3. Hayvan Deneyleri

Denek hayvanlarının en sık olarak kullanıldıkları bilimsel alanlar genetik, gelişim biyolojisi, davranış bilimleri, uygulamalı biyomedikal bilimler, yabancı transplantasyon, ilaç araştırmaları vb. alanlardır. Ayrıca bunlar haricinde hayvanlar eğitimsel amaçlarla, ırksal çalışmalarda, savunma araştırmalarında da kullanılmaktadır. [7]

Biyouyumluluk testleri; sitotoksosite, malzeme ve kimyasal karakterizasyon kapsamındaki testler ve trombus oluşumu hariç diğer kan uyumluluğu testlerinin dışında çoğunlukla hayvanlar üzerinde yürütülmektedir.[8]

Bir malzemenin güvenli olup olmadığının tespitinde ve sonrasında bir cihaz olarak etkinliğinin saptanmasında zorunlu olarak hayvanlara implantasyon kullanılır. Eğer denemeler doğru hayvan modelinde yapılmışsa, bu malzemelerin direk insanlarda kullanılabileceği ispatlanmıştır. Diğer türlerde olmasa da memeliler sınıfında hayati proseslerin ve hastalığa uyumun fenomeni aynı olmasa da benzerdir. Biyolojik olayların çoğu, bilhassa yara iyileşmesi de benzer şekildedir. Sadece büyüklüğün ve zamanın spesifik özellikleri farklılık gösterir. [9]

Literatürde çeşitli malzemelerin ve cihazların geliştirilmesi için kullanılan hayvan modellerinin açıklamaları oldukça fazladır. Fakat ne yazık ki insanlara implante edilen malzemelerde veya cihazlarda yapılan gözlemlerden elde edilen patolojik veriler oldukça azdır. implantın varlığı hastanın ölümüyle ilişkilendirilmediğinden bu verilerin az olması geri dönüşüm ekonomisine ve

histolojik gelişime bağlıdır. Yapılacak deneylerde hayvan türlerinin seçiminde de insanın durumuna uygun hayvandansa fiyat ve bulunabilirliğin daha çok göz önünde bulundurulması aynı derecede önemli bir sebeptir. [9]

İdeal hayvan modeli biyomalzemenin insan üzerinde kullanım yerine göre analogik veya homolog durumları simüle edebilecek, kalıcı kopyası yapılabilir özelliklerde olmalıdır. Hayvan modeli seçiminin bilimsel kriteri biyomalzemenin hedeflenen uygulamasına göre yapılır. Anatomik, fizyolojik, patolojik ve/veya psikolojik karakteristikler de göz önünde bulundurulmalıdır. Yıllarca süre deneme-yanılma sonucunda veya meraklı gözlemler neticesinde çeşitli hayvan sistemlerinin insanla benzer sistemler içerdikleri gözlemlenmiştir. Hayvan modelinin seçiminde anatomik, patolojik ve fizyolojik benzerliklerin yanı sıra pratikteki uygulamada, deneysel cerrahi de bir takım kısıtlamalar yaratabilir. Seçilecek olan hayvanın boyutu ve uygunluğu önemli bir parametredir. Küçük hayvanların maliyeti düşüktür ve kolaylıkla elde tutulabilir. Buna karşın cerrahi prosedürlerin büyük hayvanlara uygulanması ise çok daha kolaydır. [9]

İmplantın uzun süre kalacağı durumlarda da vücudun adaptasyonu önemlidir. Örneğin domuzlar ve insan olmayan primatlar insanla benzer kardiyovasküler sistemlere sahiptirler fakat uzun süreli kateterizasyon ve sürekli gözlem gerektiren çalışmalarda seçilecek hayvan modeli primatlar olacaktır. implant araştırmalarında deney hayvanı seçimi enfeksiyon riskinden çok göz önünde bulundurulması gereken kriterlere göre yapılır. Çünkü mikrobik komplikasyonlar açısından bir türün diğerlerine göre daha uygun olabileceğine dair hiçbir veri bulunmamaktadır. [9]

4. MALZEMENİN KONAKÇIDA OLUŞTURABİLECEĞİ ETKİLER

4.1. Biyotolere Etki

Biyomalzeme uygulandığı bölgede, sınırlı fibröz doku ile çevreleniyorsa biyotolere etkiden söz edilir. Günümüzde kullanılan çoğu biyomalzemede bu durum görülmektedir.[10]

4.2. Biyoinert Etki

Biyomalzeme, uygulandığı kemik dokuyla, arada sınırlı fibröz bir doku olmadan birleşir. Çoğu zaman biyomalzemeler uygulandıkları dokuyu, dokularda kendilerine uygulanan metaryali etkilemek çabasıdadırlar. Biyoinert etki, bu tür etkileşimlerin görülmediği biyomalzeme-doku ilişkisine verilen addır. Çok sayıda araştırmacı gerçekte biyoinert bir biyomalzeme olmadığına inanmaktadır.[10]

4.3. Biyoaktif Etki

Biyomalzeme, uygulandığı dokuda, benzer hücrelerin oluşumunu yardım ediyorsa biyoaktif etkiden söz edilebilir.[10]

4.4. Toksik etki

Ortopedi ve travmatolojide kullanılan biyomalzemeler bir çok testten geçtikten ve biyoyumluluğu onandıktan sonra kullanım alanına girmektedirler. Tüm bu testlere rağmen biyomalzemelerin allerjik, immün, nonimmün, mutajenik, kanserojenik ve inflamatuvar etkileri olabilir. Bu yüzden, kullanılacak biyomalzemenin test sonuçları çok önemlidir. [10]

5. SONUÇLAR

Genel olarak özetlemek gerekirse biyomalzemelerin seçiminde; şekil verilebilme, üretilebilme, biyoyumluluk, toksik etki, kullanımda etki edecek gerilmelere-gerinmelere dayanım, vücut sıvılarının korozif etkilerine dayanım vb gibi özellikleri öne çıkmaktadır. Özellikle 20.YY. başından itibaren biyomedikal alanda büyük gelişmeler olmuştur. İnsan vücuduna uyumlu yapay birçok malzeme geliştirilmiştir. Biyoyumlu malzeme seçimi için, malzemelerin biyoyumlulukları hakkında yukarıda verilen bilgiler göz önüne alınmalıdır. İlk olarak kullanım yerine göre yeteli dayanıma sahip malzeme seçilmelidir. Daha sonra uygulamadan önce, kişinin kullanılacak malzemelere karşı allerjik yapısı, uzman doktorlar tarafından çeşitli allerji testleriyle incelenmelidir. Kullanılacak biyomalzemelerin, korozyon açısından kişinin biyolojik yapısına uygunluğu, vücut sıvılarından alınacak numuneler içinde veya buna çok yakın bileşimde hazırlanacak çözeltiler içinde test edilmelidir. Vücut içindeki dokular genelde; sert dokular ve yumuşak dokular diye iki gruba ayrılır. Sert dokulara örnek olarak kemikler, dişler örnek

verilebilirken yumuşak dokulara örnek olarak kan damarları, deri, tendonlar örnek olarak verilebilir. Yapısal uyumluluk göz önüne alındığında, metaller , ve/ve ya seramikler sert doku uygulamaları için, polimerlerse yumuşak doku uygulamaları için uygundur.

6. KAYNAKÇA

- [1] İsmail Hakkı Uzun, Funda Bayındır (2011), Dental Materyallerin Biyouyumluluk Test Yöntemleri, S.116
- [2] Safa Tuncer, Mustafa Demirci (2011) Dental Materyallerde Biyouyumluluk Değerlendirmeleri, S.141
- [3] Öznür Özsoy, (2010), Etken Madde İçeren Kemik Çimentolarının Hazırlanması ve Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, S. 3-14
- [4] Kamil Delikanlı, Şevki Yılmaz Güven, (2006), Metalik Biyomalzemelerde Son Gelişmeler, S.368 369
- [5] Berat Mert İzgi, Mehmet Seyit Zor, (2013), Biyopolimerlerin Ortopedik Uygulamaları, S.3
- [6] Ahmet Pasinli, Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Biyomalzemeler, S. 31-32
- [7] <http://arsivbelge.com/yaz.php?sc=1629>
- [8] <http://www.adviqual.com.tr/danismanlik/biyouyumluluk-degerlendirmesi/biyouyumluluk-testleri/>
- [9] Sebahattin Yenal Vangözü, (2011), Mikro Ark Oksidasyonu ve Hidrotermal İşleme Ti6Al4V Alaşımı Üzerinde Hidroksiapatit Oluşumu, İn Vitro ve İn Vivo Şartlarda Kullanımının Araştırılması, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, S. 65-66
- [10] A. Kaya Gür, Mustafa Taşkın, (2004), Metalik Biyomalzemeler ve Biyouyum, S. 111

Yazarların adresleri

¹*Ayhan Erol, Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer Kampusü Gazlıgöl Yolu, 03200 AFYONKARAHİSAR, (0272) 228 14 46, aerol@aku.edu.tr*

²*Ahmet Yönetken, Yrd. Doç. Dr., Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer Kampusü Gazlıgöl Yolu, 03200 AFYONKARAHİSAR, (0272) 228 14 23, yonetken@aku.edu.tr*

³*Okan Aytuğ Kuloğlu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Ahmet Necdet Sezer Kampusü Gazlıgöl Yolu, 03200 AFYONKARAHİSAR, okan.aytug@outlook.com*

Friction performance of brake linings containing alumina and cashew

İlker Sugözü^{1,*} Enver Çakır²

Abstract

Friction characteristics of eight brake friction materials containing different amounts of alumina (Al₂O₃) powders were investigated by using a brake dynamometer. 5%, 10% and 15% alumina (Al₂O₃) powders were added to the cashew-based powders and alumina reinforced cashew-based brake linings were produced (AC). In these specimens, half of the samples (shown with H indices) were heat treated in 4 h at 180°C temperature. The composite was developed for a non-asbestos organic based friction material for an automotive brake system and contained typical ingredients for commercial brake friction materials. The influence of the ingredients on wear rate and friction coefficient was examined using a brake dynamometer. The lining material with heat treatment application alumina particles generated a stable friction film on the lining surface, which provided excellent friction stability with less lining wear.

Keywords: friction, wear, alumina, cashew, tribology

1 INTRODUCTION

Non-asbestos organic friction materials are multi-ingredient composites containing binder, fibers (reinforcements), functional fillers (e.g., friction modifiers such as solid lubricants, abrasives etc.) and space fillers [1]. The performance of the friction material is strongly affected by selection of the ingredients [2]. The abrasives in the brake friction materials play important roles in determining the stopping distance, counter disc wear and noise propensity [3-6]. Various forms of oxides and silicates, such as zircon, alumina, quartz, magnesia, etc., have been used in brake linings to attain a desired level of friction, and their effectiveness is highly dependent on the morphology and hardness of the particles [7].

Several experimental works were performed concerning the abrasives in the brake friction material and their functions on brake performance [8]. Boz and Kurt [9] studied the effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials and reported that the friction coefficient and wear resistance of the samples increased with increasing the amount of Al₂O₃. Öztürk et al. [2] investigated the effects of graphite and hexagonal boron nitride as solid lubricants and aluminum oxide and boron carbide as abrasives on brake friction performance. The results of their study indicated that the friction coefficient and specific wear rate of the composites increased with decreasing solid lubricant and increasing abrasive content. Kim et al. [10] investigated automotive brake friction materials with four different abrasive particles viz. silicon carbide, zircon, quartz and magnesia and they noticed that the fracture toughness of the abrasives played a crucial role in determining the friction level, wear debris formation and stick-slip.

The current work aims to evaluate and investigate the tribological performance of brake linings containing alumina and cashew using a pad-on-disc type friction tester according to TSE 555 [11]. The brake linings were also characterized by measuring their hardness and density.

2 EXPERIMENTAL WORK

The fabrication of brake lining samples containing eight ingredients was based on keeping parent composition of 6 ingredients (53%, w/w) constant and varying two ingredients, viz. alumina and barite (47%, w/w) in complementary manner as shown in Table 1 based on a systematic increase in alumina (5, 10 and 15 wt.%).

The brake lining specimens were manufactured by dry-mixing, pre-forming, hot pressing and post-curing. All constituents were weighed with a sensitivity of 0.1 mg and mixed in a blender. The mixing schedule was of ten minutes duration. The mixing sequence and time of mixing of each lot of ingredients lead to proper uniformity in the mixture. If mixing time is low, proper homogeneity cannot be achieved. If it is too high, it does not improve the homogeneity further [12]. Hence, it has to be optimized which was done in the laboratory in pre-work. After the mixing operation, the mix was preformed at room temperature under 8 MPa for 2 min and hot pressed at 150°C and 10 MPa pressure for 10 min and subsequently postcured. Two intermittent breathings were also allowed during the initiation of curing to remove volatiles and moisture. Postcuring operation was carried out for 4 h at a constant temperature of 180°C and atmospheric pressure. The size of the cylindrical brake lining specimen was Ø25.4 mm × 10 mm.

The surface hardness of all brake lining samples were measured using Brinell hardness tester with 62.5 kgf load and 2.5 mm diameter of indenter steel ball. The density of the specimens was determined based on Archimedean principle in water.

The friction and wear characteristics of the brake lining samples were determined using a real brake disc-type tester (schematic sketch as shown in Fig. 1) using the brake lining quality test procedure as per TSE 555. The tester device is fully computer controllable and comprises of data acquisition software. Detailed information about the friction testing machine and the test procedure can be found in earlier work [8].

Table 1. The ingredients of the brake lining samples (wt.%)

Function	Raw materials	Sample code		
		AC5	AC10	AC15
Binder	Phenolic resin	20	20	20
Metal fiber	Steel wool	5	5	5
Functional fillers	Brass particles	5	5	5
	Copper particles	8	8	8
Solid lubricant	Graphite	5	5	5
Friction modifier	Cashew dust	10	10	10
Abrasive	Alumina	5	10	15
Space filler	Barite	42	37	32

Friction tests were carried out against grey cast iron disc whose diameter and hardness were 280 mm and 116 HB, respectively. The disc temperature was measured during the tests by using non-contacting infrared (IR) thermometer. The thermometer is placed at approximately 2 cm away from the trailing edge of the brake lining samples. Three tests were run of each specimen for each test conditions and average values were reported here.

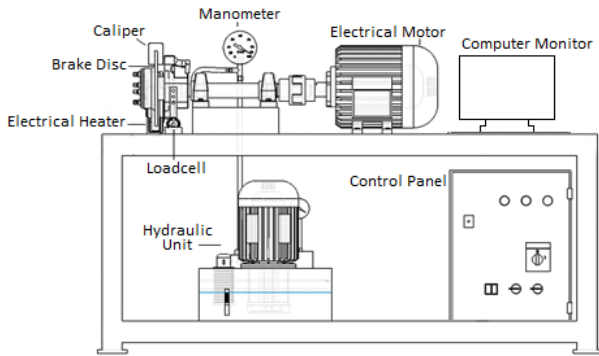


Fig. 1. Schematic of brake friction test equipment [13]

From the values of the normal load applied on the pin f_n , and the frictional force f_s measured by tester device, the friction coefficient μ is calculated as follow:

$$\mu = \frac{f_s}{f_n} \quad (1)$$

The weight loss was determined by weighing the samples before and after the wear test. The specific wear rate was determined in accordance to TSE 555 [11] standard by using the following equation:

$$V = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \frac{m_1 - m_2}{n \cdot f_s \cdot \rho} \quad (2)$$

where V is the specific wear rate (cm^3/Nm), R is the distance between centers of the sample and the

rotating disc (m), m_1 and m_2 are the average specimen weights before and after the test (g), respectively, n is the rotating number of disk, ρ is the density of the brake lining (g/cm^3), and f_s is the average frictional force (N).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Change in a brake's coefficient of friction as a function of sliding speed and/or applied pressure is a very important issue because drivers expect the same level of friction force at various braking conditions. Change in the coefficient of friction is also related to brake phenomena such as noise, anti-fade, and vibration [14].

In this study, we investigated the effect of alumina and cashew in the brake linings on the friction properties. Brake linings containing three different amount alumina were tested against grey cast iron disc. Fig. 2 to 4 show the characteristic time dependences of the coefficient of friction as detected in pin-on-disc type tribometer for pre- and after sintering all samples. Sample code called ACH represents sintering samples in Fig. 2-4.

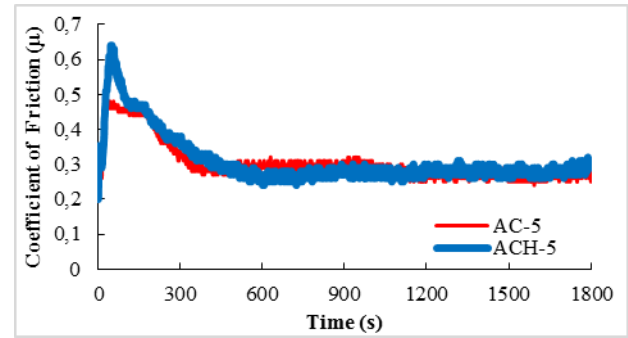


Fig. 2. The change of friction coefficient as a function of time for AC-5 and ACH-5 sample

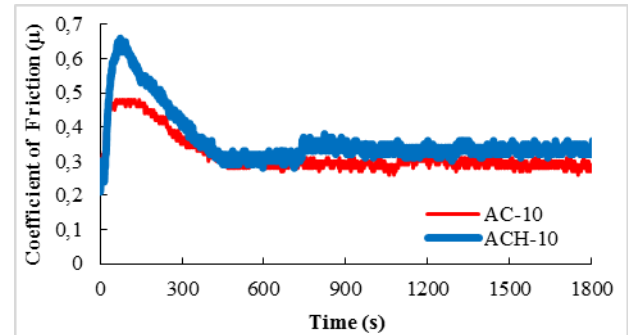


Fig. 3. The change of friction coefficient as a function of time for AC-10 and ACH-10 sample

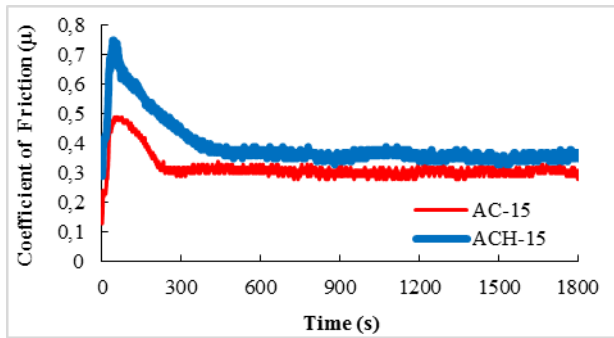


Fig. 4. The change of friction coefficient as a function of time for AC-15 and ACH-15 sample

As seen from the figures, the friction coefficients show different features depending on the content. It is seen from the figures sintering supplied the more homogeneous braking pad structure. In addition, more stabilized coefficient of friction was obtained due to sintering.

Generally, the friction-coefficient value gradually increases for all the samples until the 100 s and then gradually decreases after the 300 s (Figures 2 to 4). The reason of the increasing friction coefficient is the contact of the metallic material with the disc surface.

As seen from these figures, it is understood that all the heat-treated samples (ACH) have higher friction coefficient values and more stable friction coefficients than the others. The differences between the friction coefficients of the AC samples and the ACH samples are obvious especially at the beginning and after the 300 s. The difference at the initial state shows a good fit of the heat-treated samples to the surface.

Nonetheless, it should be noted that a good stability of μ is achieved using the samples under the working condition considered. These results are consistent with the behavior of the friction coefficients of all the samples. Therefore, if a μ value of 0.30–0.39 is desired, additions of both Al_2O_3 and cashew can be used in the brake pads in the amounts of 5–15 %.

Furthermore, with the increasing of temperature, the ingredients in the braking pad affected each other due to better diffusion. Therefore, it can be said that heat treatment is essentially required in braking pads. It is also known that hardness of specimens increases and density decreases due to heat treatment and specific wear ratio changes (Table 2). These results are consistent with the early work (Jang *et al.*, 2001; Chapman *et al.*, 1999). It is seen from these figures that heat treatment supplied better friction coefficient that behavior (Figures 2-4). It can be said that heat treatment supplied more homogeneous structure and hence, microstructural variations were minimized during the brake action.

Specific wear ratio of heat-treated and untreated specimens was shown in Table 2 for Al_2O_3 added samples, respectively. It is seen from Table 2 that wear generally decreased in heat treated specimens.

Table 2. Typical characteristics of the brake pad with Al_2O_3 in this study

Sample code	Specific wear ratio ($\times 10^{-6}$) (cm^3/Nm)	Density (g/cm^3)	Brinell hardness (HB)	Friction coefficient (μ)
AC-5	0,15	2,20	26	0,301
ACH-5	0,13	2,15	27	0,317
AC-10	0,17	2,21	28	0,316
ACH-10	0,16	2,16	29	0,359
AC-15	0,20	2,22	29	0,326
ACH-15	0,18	2,18	30	0,392

No wearing cannot be expected from brake linings. Even if very high wear resistant materials are used, this results in wear of the counter surface. Therefore, a variation of the friction coefficient with the temperatures is considered to be much more important than the wear resistance in the friction materials. Specific wear ratio of heat-treated and untreated specimens was shown in Table 2 for Al_2O_3 added samples, respectively. It is seen from Table 2 that wear generally decreased in heat treated specimens. However, wear in the samples numbered as untreated increased. The reason is that due to the coarse-grained copper content. During the heat treatment, at the beginning grain growth of copper positively affected the wear resistance. In general, heat treatment supplied better wear resistance comparing to untreated specimens. Maximum wear ratio of the base friction material was found to be 0.20×10^{-6} for AC-15 sample. This value isn't very high for the brake lining materials. This value was decreased to 0.18×10^{-6} for ACH-15 sample.

4 CONCLUSIONS

From experimental studies of Al_2O_3 brake pad, the following conclusions can be drawn;

Al_2O_3 additive was positively affected the braking performance. It is known that during the heat treatment of Al_2O_3 added samples. These samples supplied higher and stable friction of coefficient.

With the increasing of Al_2O_3 into specimens, friction coefficient also increased.

Heat treatment application changed the microstructure of the brake lining, increased the hardness and the density.

The heat treatment on Al_2O_3 added specimens, the less wear ratio was obtained comparing to the untreated ones.

It was observed that the addition of the Al_2O_3 powder in the samples increased hardness.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by the BAP Research Fund of Mersin University, Mersin, Turkey, under Grant Contracts No: 2016-2-TP2-1943

REFERENCES

- [1] Bijwe, J., Aranganathan, N., Sharma, S., Dureja, N., & Kumar, R. (2012). Nano-abrasives in friction materials-influence on tribological properties. *Wear*, vol. 296(1), ISSN 0043-1648 p. 693-701.
- [2] Öztürk, B., Öztürk, S., Adıgüzel, A.A. (2013). Effect of type and relative amount of solid lubricants and abrasives on the tribological properties of brake friction materials. *Tribology Transactions*, vol. 56, ISSN 1040-2004 p. 428-441.
- [3] Jang, H., Kim, S. J. (2009). Brake friction materials, in S.K.Sinha, B.J.Briscoe (Eds.), *Polymer Tribology*, Imperial College Press, p. 506-532.
- [4] Jacko, M. G., Rhee, S. K. (1992). Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, vol. 4, 4th edition, Wiley, New York, p. 523-536.
- [5] Nicholson, G. (1995). Facts About Friction, Gedoran America, Winchester.
- [6] Chan, D., Stachowiak, G. W. (2004). Review of automotive brake friction materials. *Proc. Inst. Mech. Eng.*, vol. 218, ISSN 09544070 p. 953-966.
- [7] Cho, K. H., Jang, H., Hong, Y. S., Kim, S. J., Basch, R. H., Fash, J. H. (2008). The size effect of zircon particles on the friction characteristics of brake lining materials. *Wear*, vol. 264(3-4), p.291-297.
- [8] Sugoçu, K. B., Daghan, B., Akdemir, A., Ataberk, N. (2016). Friction and wear properties of friction materials containing nano/micro-sized SiO₂ particles. *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 68(2), ISSN 0036-8792 p.259-266.
- [9] Boz, M., Kurt, A. (2007). The effect of Al₂O₃ on the friction performance of automotive brake friction materials. *Tribology International*, vol. 40(7), p. 1161-1169.
- [10] Kim, S. S., Hwang, H. J., Shin, M. W., Jang, H. (2011). Friction and vibration of automotive brake pads containing different abrasive particles. *Wear*, vol. 271(7-8), p. 1194-1202.
- [11] TS 555 (1992). Highway Vehicles-Brake System-Brake Pads for Friction Brake. TSE, Ankara, Turkey
- [12] Bijwe, J., Kumar, M. (2007). Optimization of steel wool contents in non-asbestos organic (NAO) friction composites for best combination of thermal conductivity and tribo-performance. *Wear*, vol. 263, p. 1243,1248.
- [13] Sugözü, İ. (2015). Investigation of using rice husk dust and ulexite in automotive brake pads. *Materials Testing*, vol. 57, p. 877-882.
- [14] Anderson, A. E. (1995). Friction excited oscillation. *Link Brake Technology Report-FEVI*.
- [15] Jang, H., Lee, J.S. and Fash, J.W. (2001), "Compositional effects of the brake friction material on creep groan phenomena", *Wear*, Vol. 251 Nos 1/12, pp. 1477-1483.T. R. Champman, D. E. Niesz, R. T. Fox, T.
- [16] Chapman, T.R., Niesz, D.E., Fox, R.T. and Fawcett, T. (1999), "Wear-resistant aluminum-boron-carbide cermets for automotive brake application", *Wear*, Vol. 236 Nos 1/2, pp. 81-87.

Authors addresses

¹İlker Sugözü, *Friction Performance of Brake Linings Containing Alumina and Cashew*, Department of Automotive Engineering, Tarsus Technology Faculty, Mersin University, Mersin, Turkey
ilkersugozu@gmail.com

²Enver Çakır, *Friction Performance of Brake Linings Containing Alumina and Cashew*, Institute of Natural and Applied Sciences, Mersin University, Mersin, Turkey
envercakir1987@gmail.com

Contact person

* İlker Sugözü, *Friction Performance of Brake Linings Containing Alumina and Cashew*, Department of Automotive Engineering, Tarsus Technology Faculty, Mersin University, Mersin, Turkey
ilkersugozu@gmail.com

Tribological characteristics of automotive brake linings containing ZrSiO₄

İlker Sugözü^{1,*} Enver Çakır²

Abstract

This work investigated the effect of zircon particle (Z) on the friction characteristics of brake lining materials. Three different brake lining of commercially used zircon particles (nominally 5%, 10%, 15%) were used to produce non-steel type lining materials. In these specimens, half of the samples (shown with H indices) were heat treated in 4 h at 180°C temperature. We focused on the level of the friction coefficient and wear resistance of the linings and gray iron counter disks were investigated with respect to the zircon particle by using a pad-on-disk type friction tester. Results showed that the amounts of the zircon particles played a significant role in the formation of friction film, which was closely related to the friction performance. Heat treatment-applied samples (ZH) have provided a higher and stable friction coefficient.

Keywords: brake lining, friction, wear, zircon, tribology

1 INTRODUCTION

The brakes require the friction materials with higher and stable friction coefficient, low wear rate, no noise, low cost, and environment friendly. In order to realize the requirements, the researches on the selection of raw materials and optimization of friction formulations have been done [1,2].

Types and relative amounts of ingredients have been determined by empirical observations and the ingredients comprise binder resin, reinforcing fibers, solid lubricants, abrasives, fillers, and friction modifiers [3].

Abrasive particles are included in the brake linings to control the level of the friction force and to remove pyrolyzed friction films at the sliding interface [4-6]. Commercial brake linings typically contain approximately 1-8 vol.% of abrasives. Various forms of oxides and silicates, such as zircon, alumina, quartz, magnesia, etc., have been used in brake linings to attain a desired level of friction, and their effectiveness is highly dependent on the morphology and hardness of the particles [7].

Various tribological properties related to the abrasives have been studied [8-10]. Ma et al. [8] investigated the effects of ZrSiO₄ in non-metallic brake friction materials on friction performance. They found that ZrSiO₄ as an abrasive played a key role enhancing the friction coefficient values, but decreased the wear rate. Shin et al. [9] studied the friction characteristics of friction materials containing zircon particles of three different sizes using a reduced scale dynamometer. They found that the friction material specimen with fine zircon particles exhibited higher friction level and low contact stiffness with excessive friction material wear. Cho et al. [7] investigated the size effect of zircon particles on the friction characteristics of brake lining materials and found that the size of the zircon particle was a dominant factor in determining the friction stability and amplitude of the friction coefficient during sliding. Lee et al. [10] studied the friction and wear properties according to the type, size, and shape of abrasives in the friction material using two different (coarse and fine) grades of zircon

and quartz particles. They indicated that the size, shape, and toughness of the abrasive particles could significantly affect the wear of the friction material and aggressiveness against gray iron counter discs.

In this study, the friction and wear properties of automotive brake linings containing zircon (ZrSiO₄) particles of three different amounts (5, 10 and 15 wt %) were investigated. Tribo-tests were carried out using a pin-on-disc type friction tester. The brake lining samples were also characterized by measuring their hardness and density.

2 EXPERIMENTS

The relative amounts of raw materials used for our experiments are listed in Table 1. The brake lining samples comprise phenolic resin as a binder, steel wool as a metal fiber, brass and copper particles as functional fillers, graphite as a solid lubricant, cashew dust as a friction modifier, zircon as an abrasive and barite as a space filler.

The brake lining specimens were produced by dry-mixing, pre-forming, hot pressing and post-curing. All constituents were weighed with a sensitivity of 0.1 mg and mixed in a blender. The mixing schedule was of ten minutes duration. After the mixing operation, the mix was pre-formed at room temperature under 8 MPa for 2 min and hot pressed at 150°C and 10 MPa pressure for 10 min and subsequently postcured. Two intermittent breathings were also allowed during the initiation of curing to remove volatiles and moisture. Post-curing operation was carried out for 4 h at a constant temperature of 180°C and atmospheric pressure. The cylindrical brake lining specimens in the size of Ø25.4 mm × 10 mm were manufactured according to the procedure given in Table 2.

Hardness of all brake lining samples were measured using Brinell hardness tester with 62.5 kgf load and 2.5 mm diameter of indenter steel ball. Three repeated tests were conducted for each specimen and the average value is displayed in Table 3. The density of the specimens was determined based on Archimedean principle in water.

The friction characteristics of the three brake lining specimens were examined using a real brake disc-type tester (schematic sketch as shown in Fig. 1) which is fully computer controllable and comprises of data acquisition software. Detailed information about the test procedure can be found elsewhere [11].

Table 1. Raw material ingredients used to produce the brake lining samples (wt.%)

Classification	Ingredients	Sample code		
		Z5	Z10	Z15
Binder	Phenolic resin	20	20	20
Metal fiber	Steel wool	5	5	5
Functional fillers	Brass particles	5	5	5
	Copper particles	8	8	8
Solid lubricant	Graphite	5	5	5
Friction modifier	Cashew dust	10	10	10
Abrasive	ZrSiO ₄	5	10	15
Space filler	Barite	42	37	32

Table 2. Manufacturing procedure for brake lining samples

Procedure	Conditions		
	Time (min)	Temperature (°C)	Pressure (MPa)
Mixing	10	Room temperature	-
Pre-forming	2	Room temperature	8
Molding	10	150°C	10
Post-curing	240	180°C	-

Friction tests were carried out against grey cast iron disc whose diameter and hardness were 280 mm and 116 HB, respectively. The disc temperature was measured during the tests by using non-contacting infrared (IR) thermometer. The thermometer is placed at approximately 2 cm away from the trailing edge of the brake lining samples. Three tests were run of each specimen for each test conditions and average values were reported here.

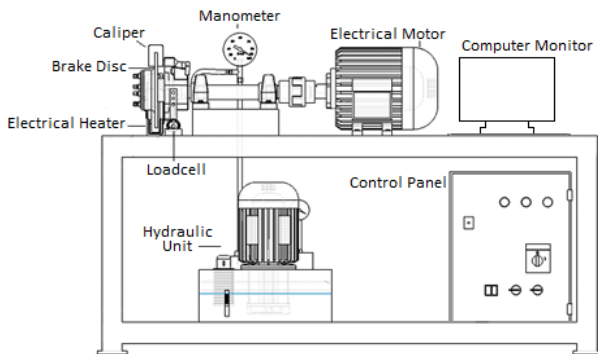


Fig. 1. Schematic of brake friction test equipment [12]

From the values of the normal load applied on the pin f_n , and the frictional force f_s measured by tester device, the friction coefficient μ is calculated as follow:

$$\mu = \frac{f_s}{f_n} \quad (1)$$

The amount of wear of the samples were determined by measuring the difference in weight after the tests. The specific wear rate was determined in accordance to TSE 555 [13] standard by using the following equation:

$$V = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \frac{m_1 - m_2}{n \cdot f_s \cdot \rho} \quad (2)$$

where V is the specific wear rate (cm³/Nm), R is the distance between centers of the sample and the rotating disc (m), m_1 and m_2 are the average specimen weights before and after the test (g), respectively, n is the rotating number of disk, ρ is the density of the brake lining (g/cm³), and f_s is the average frictional force (N).

3 RESULTS AND DISCUSSION

Friction-induced surface films, ranging from about 0.5 to 5- μ m thick are commonly observed on the surfaces of friction brakes. Some authors claimed that this can stabilize frictional behaviour, but their exact role in braking is controversial [14, 15]. In fact, some manufacturers add abrasive additives into frictional materials to control friction film build-up on the opposing rotor surface and to improve their “grip”.

When the coefficient of friction (μ) is concerned, it varies significantly at the initial stage of testing. This can be attributed to the fact that the size of the contact area increases and the friction layer is developed on the surface. The variations of the friction coefficient with test time are depicted in Figures 2-4. As seen from the figures, the friction coefficients show different features depending on the content.

The coefficient of friction of friction material often varies as the sliding speed changes, and this amount of coefficient of friction variation is highly dependent on ingredients in the friction material [16].

It is seen from these figures that, the friction coefficient gradually increases in all samples. The friction coefficient value increases for all samples until 100th second and then decrease rapidly until 300th second (Fig. 2, 3, 4). The reason of increasing friction coefficient is contact of the metallic material to the disc surface. The metallic materials in ingredient wear in the time. Therefore, these metallic materials detach from surface of brake pad, and the friction coefficient decreases. This phenomenon is continuing until new friction surfaces occur. Heavy increase in the friction coefficient results in increase in temperature on the surface of friction. This situation is very fluctuating, and undesirable.

In all samples, after μ increases first and then maintained a constant value with slight fluctuations (Fig. 2, 3, 4).

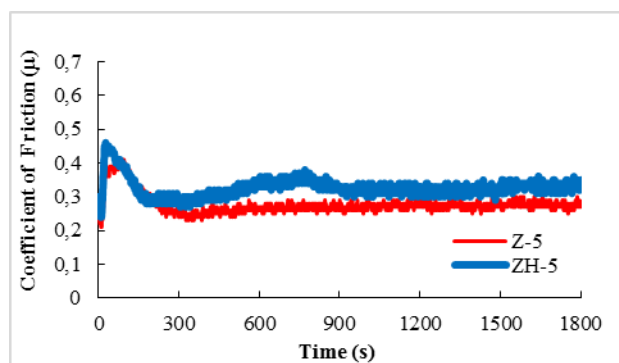


Fig. 2. The change of friction coefficient as a function of time for Z-5 and ZH-5 sample

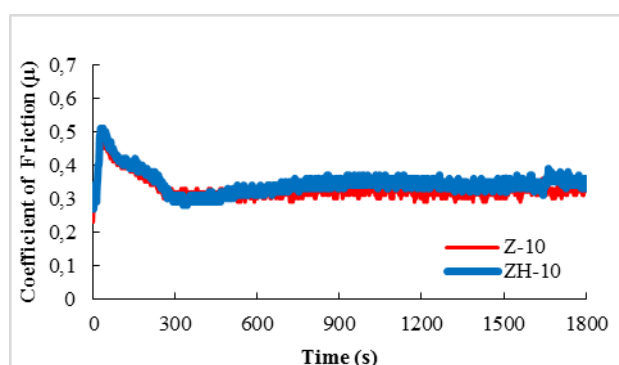


Fig. 3. The change of friction coefficient as a function of time for Z-10 and ZH-10 sample

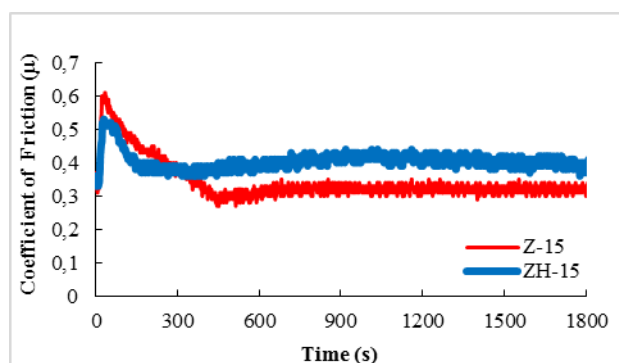


Fig. 4. The change of friction coefficient as a function of time for Z-15 and ZH-15 sample

Wear mechanisms during wearing of friction materials are extremely complex phenomena since several interactions and mechanisms are simultaneously operative during material removal/gain process from both the surfaces. These are dynamic processes which in turn depend on composition of contacting surfaces including that of third phase (tribolayer), which in turn depends on operating parameters such as load, speed and especially interface temperature. No wearing cannot be expected from brake linings. Even if very high wear resistant materials are used, this results in wear of the counter surface.

Table 3. Typical characteristics of the brake pad with Al_2O_3 in this study

Sample code	Specific wear ratio ($\times 10^{-7}$) (cm^3/Nm)	Density (g/cm^3)	Brinell hardness (HB)	Friction coefficient (μ)
Z-5	17,4	2,31	26	0,27
ZH-5	10,8	2,19	29	0,32
Z-10	21,9	2,33	28	0,32
ZH-10	14,7	2,23	34	0,34
Z-15	22,3	2,35	30	0,34
ZH-15	16,5	2,26	38	0,40

Specific wear ratio of heat-treated and untreated specimens was shown in Table 2 for zircon added samples, respectively. It is seen from Table 2 that wear generally decreased in heat treated specimens.

In general, heat treatment supplied better wear resistance comparing to untreated specimens. Maximum wear ratio of the base friction material was found to be 22,3 for Z-15 sample. This value isn't very high for the brake lining materials. This value was decreased to 16,5 for ZH-15 sample. Although this is a good result in terms of wear resistance, this condition results in lower friction coefficient values (Table 3).

CONCLUSIONS

The effects of Specific wear ratio, density, hardness and friction coefficient for zircon under dry sliding were studied. The conclusions from this study and evaluation are summarized as follows:

With the increasing of zircon into specimens, friction coefficient also increased.

Heat treatment supplied more homogeneous structure and hence, micro-structural variations were minimised during the brake action.

Heat treatment application changed the microstructure of the brake lining, increased the hardness and the density.

With the increasing of temperature, the ingredients in the braking pad were affected other due to faster diffusion. On the other hand, hardness of specimen increases due to heat treatment and also specific wear ratio changes.

The heat treatment on zircon added specimens, the less wear ratio was obtained comparing to the untreated ones.

The structure of such friction layer differs from the bulk material formulation and also depends on the environment and applied testing condition.

The frictional performance strongly depends on friction layer generated on the friction surface and this enhances the stability of friction coefficient at higher contact temperature and hence improves the fade resistance.

ACKNOWLEDGMENT

This work is supported by the BAP Research Fund of Mersin University, Mersin, Turkey, under Grant Contracts No: 2016-2-TP2-1943

REFERENCES

- [1] Lu, Y., Tang, C.F., Zhao, Y., Wright, M.A. (2004). Optimization of a semimetallic friction material formulation. *J Reinf Plast Compos*, vol.3 p.1537-45.
- [2] Lu, Y. (2003). A golden section approach to optimization of automotive friction materials. *J Mater Sci*, vol.38 p.1081-5.
- [3] Cho, M.H., Seong, J.K., Daehwan, K., Jang, H. (2005). Effects of ingredients on tribological characteristics of a brake lining: an experimental case study. *Wear*, vol.258 p.1682-1687.
- [4] Longley, J.W., Gardner, R. (1988). Some compositional effects in the static and dynamic properties of commercial vehicle disk brakes. *ImechE C453/88*, p. 31-38.
- [5] Jang, H., Kim, S. J. (2000). The effects of antimony trisulfide (Sb₂S₃) and zirconium silicate (ZrSiO₄) in the automotive brake friction material on friction characteristics. *Wear*, vol. 239(2) p. 229-236.
- [6] Handa, Y., Kato, T. (1996). Effects of Cu powder, BaSO₄ and cashew dust on the wear and friction characteristics of automotive brake pads. *Tribology Transactions*, vol.39(2) p.346-353.
- [7] Cho, K.H., Jang, H., Hong, Y.S., Kim, S.J., Basch, R.H., Fash, J.W. (2008). The size effect of zircon particles on the friction characteristics of brake lining materials. *Wear*, vol.264(3) p.291-297.
- [8] Ma, Y., Martynková, G.S., Valášková, M., Matějka, V., Lu, Y. (2008). Effects of ZrSiO₄ in non-metallic brake friction materials on friction performance. *Tribology International*, vol.41(3) p.166-174.
- [9] Shin, M.W., Kim, Y.H., Jang, H. (2014). Effect of the abrasive size on the friction effectiveness and instability of brake friction materials: a case study with zircon. *Tribology Letters*, vol.55(3) p.371-379.
- [10] Lee, E.J., Hwang, H.J., Lee, W.G., Cho, K.H., Jang, H. (2010). Morphology and toughness of abrasive particles and their effects on the friction and wear of friction materials: a case study with zircon and quartz. *Tribology letters*, vol.37(3) p.637-644.
- [11] Sugoçu, K. B., Daghan, B., Akdemir, A., Ataberku, N. (2016). Friction and wear properties of friction materials containing nano/micro-sized SiO₂ particles. *Industrial Lubrication and Tribology*, vol. 68(2), ISSN 0036-8792 p.259-266.
- [12] Sugözü, İ. (2015). Investigation of using rice husk dust and ulexite in automotive brake pads. *Materials Testing*, vol. 57, p. 877-882.
- [13] TS 555 (1992). Highway Vehicles-Brake System-Brake Pads for Friction Brake. TSE, Ankara, Turkey
- [14] P.J. Blau, J.C.McLaughlin, Effects of water films and sliding speed on the frictional behavior of truck disc brake materials, *Tribology International* 36 (October (10)) (2003) 709–715
- [15] EL-Tayeb, N.S.M., Liew K.W., (2009). On the dry and wet sliding performance of potentially new frictional brake pad materials for automotive industry. *Wear*, Volume 266, Issues 1–2, p.275–287
- [16] Jang, H., Ko, K., Kim, S. J., Basch, R. H., Fash, J. W. (2004). The effect of metal fibers on the friction performance of automotive brake friction materials. *Wear*, 256(3), 406-414.

Authors addresses

¹İlker Sugözü, Friction Performance of Brake Linings Containing Alumina and Cashew, Department of Automotive Engineering, Tarsus Technology Faculty, Mersin University, Mersin, Turkey
ilkersugozu@gmail.com

²Enver Çakır, Friction Performance of Brake Linings Containing Alumina and Cashew, Institute of Natural and Applied Sciences, Mersin University, Mersin, Turkey
envercakir1987@gmail.com

Contact person

* İlker Sugözü, Friction Performance of Brake Linings Containing Alumina and Cashew, Department of Automotive Engineering, Tarsus Technology Faculty, Mersin University, Mersin, Turkey
ilkersugozu@gmail.com

The use of the drug delivery systems on the meso-porous silica particles

Alime Çıtak^{1,*}, Tuğçe Güner², Gizem Akbıyık³

Abstract: In this review, meso-porous silica particles has focused on their use in drug delivery systems. For the being used that controlled drug release of the meso-porous silica particles, and the purpose of enhancing the loading capacity of the silica particles was mentioned. The structure of the meso-porous silica materials and metal loading on the meso-porous materials, controlled drug delivery systems and the material advantages-disadvantages, and also, hydrophobic drugs was reviewed.

Keywords: SBA-15, meso-porous materials, functionalized SBA-15, hydrophobic drugs, oscillation system drug.

1 INTRODUCTION

Controlled Drug Release Systems enable the active substance to release locally or systematically at pre-determined rates and at marked time intervals during illnesses. The main objective of controlled release systems is to stabilize the amount of active substance in the blood plasma concentration. The release of active substance is related to the properties of the polymer used in the dosage form. For this reason, the properties of the material to be used must be examined in detail for the suitability of the formulation. Controlled release systems; PH, ionic forces, motility rate and enzymes. (Horcajada *et al.*, 2004).

2 ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF CONTROLLED DRUG RELEASE

Benefits of controlled drug release are:

- Continuous protection of therapeutic level of medication
- Reduction of harmful effects due to targeting
- Reducing the amount of drug needed
- Reduce the dosage amount to improve patient compliance with the recommended drug regimen
- Facilitation of drug management for drugs with short half-life (eg, proteins and peptide drugs) is affected (Liversidge *et al.*, 1995).

3 DRUG RELEASE SYSTEMS

Drug release systems have many advantages for pharmaceuticals. Above all, the effect of drugs can be improved for the treatment of diseases such as tumors

using drug release systems. Second, drug delivery systems (DDS) helps to improve the therapeutic effects of important drugs. Third, drugs containing biotechnological enhancements such as proteins, plasmids or peptides do not reach certain types of tissues or cells without carrier systems. Drug carrier systems are used to ensure that drugs reach the desired tissue or cells. Although the most commonly used drug consumption is oral and injection, these systems are inefficient for some treatments. In addition, distribution systems for low solubility drugs and proteins are needed. To overcome these problems, the field of nanotechnology represents new materials at the nanoscale and is used for many applications. In particular, silica-based nano-particles are used for drug release systems (Horcajada *ve ark.*, 2004; Allen *ve ark.*, 2004).

3.1. Polymeric Drug Release Systems

3.1.1. Diffusion-controlled drug release systems

Membrane systems

In these systems, the drug is stored in a reservoir surrounded by a swollen or swollen polymeric layer. Membrane systems can be prepared in various forms such as sheet, film, capsule, microcapsule, hollow fiber.

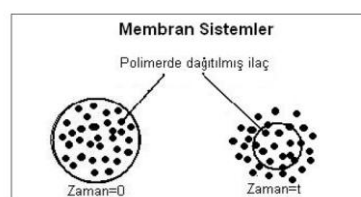


Figure 3.1. Demonstration of membrane systems (Regi *et al.*, 2008)

Matrix systems

In these systems, the drug is dissolved or dispersed in the solid polymer. The fabrication of matrix systems is easier and cheaper than membrane systems.

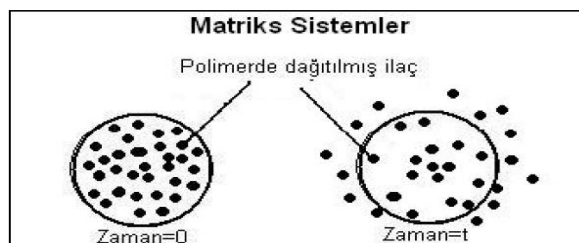


Figure 3.2. Demonstration of matrix systems (Regi et al., 2008)

3.1.1. Chemical controlled drug release systems

Body wear systems

In biodegradable systems, the drug is distributed in the polymer as in matrices. Unlike matrix systems, however, the polymer phase, which begins to erode with the release of the drug in these systems, decreases and disappears over time. Thanks to this feature, the use of such implants does not require surgery. If the wear of the polymer matrix is rather slow compared to the diffusion of the drug, the release is controlled by diffusion. If diffusion is slower than wear, drug release rate is controlled by wear (Horcajada et al., 2004; Gezer et al., 2013).

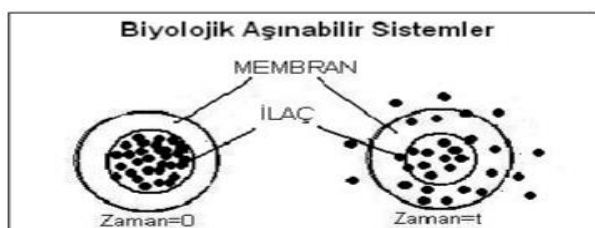


Figure 3.3. Demonstration of biological portable systems (Rengi et al., 2008)

4 HYDROPHOBIC DRUGS

Weak soluble drugs show low bioavailability. For this reason, the use of low-water-solubility drugs is limited (Liversidge et al., 1995).

Disintegration is the first step for the advent of the drug. In this way, undesirable or hydrophobic drugs in the aqueous medium of the blood and gastrointestinal tract result in undesirable pharmacokinetic effects, and the therapeutic effects of the drug molecules are minimized. Weak soluble drugs are eliminated from the digestive tract before they are completely solubilized and adsorbed. This can lead to poor bioavailability and poor dosing. The drug is given to the body through the bloodstream. Normally, it is given orally or intravenously. However, most of the active molecules spread before reaching the target and cause side effects. Here, information will be given about the curcumin drug that is predicted to inhibit the growth of cancer cells.

4.1. Curcumin

Zerdeçal has been around for centuries; It is used in cats and animals because of the medical effects of the plant. This extraordinary plant has accepted itself all over the world with its medical benefits. Turmeric is a powerful antioxidant. Curcumin, C, E and B-carotene are the main active ingredients. It is preferred because of its anti-cancer, liver protective and anti-aging properties. Turmeric, published in various studies, shows that different types of cancer cells inhibit growth. It also helps alleviate potent inflammation such as bursitis, arthritis and back pain (Liversidge et al., 1995). Curcumin is a drug with antioxidant, antiinflammatory, antiviral, anticarcinogenic and antifungal effects. Studies have shown that curcumin is not toxic to humans. Curcimin has an important role in inflammation. It exhibits antiinflammatory activity by inhibiting a number of different molecules (Das. Et al., 2010).

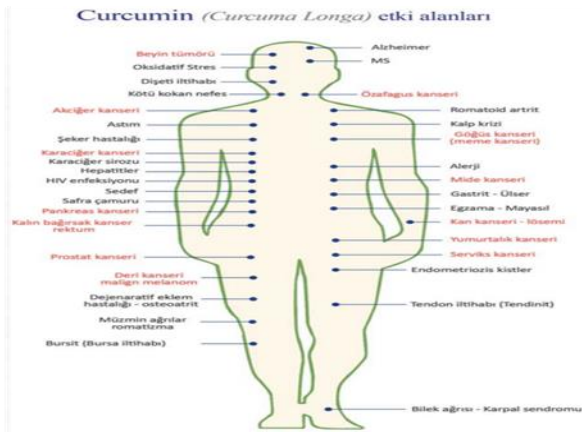


Figure 4.1. Curcumin domains
(<http://www.zerdecal.org/curcumin-etki-alanlari.php>)

Curcumin activates and represses the genetic profile of research done by Germany. In order to prevent many diseases, some genes and enzymes have to be activated in order to be able to treat certain genes and enzymes, ie passive diseases. This is because the cancer can be activated by P53 gene curcumin, which performs apoptosis on cancer cells and fights cancer cells.

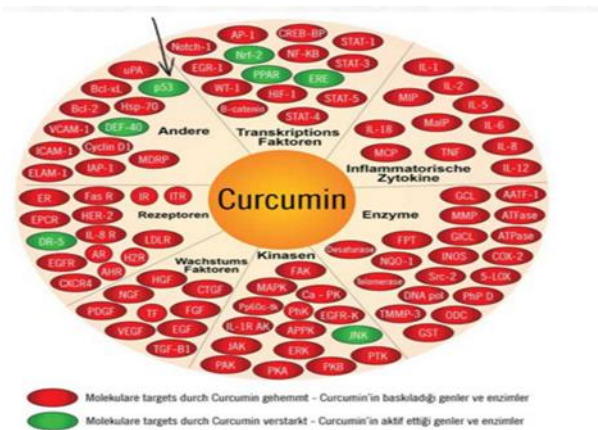


Figure 4.2. Curcumin Activated and Overprinted Genotype Table (<http://www.zerdecal.org/curcumin-etki-alanlari.php>)

Active Components

Its active ingredients are flavonoid curcumin (diferuloylmethane) and various essential oils including tumerone, atlantane and zingiberone. Other components include sugars, proteins and resins. Curcumin is present in the crude turmeric at a rate of 0.3-5.4%. The formula

for curcumin is given below.

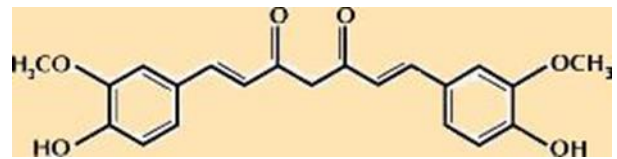


Figure 4.3. Chemical structure of curcumin
(<http://www.sepenatural.com.tr/Turmeric-Zerdecal-Zerdecal-Curcuma-Longa,DP-1126.html>).

4.2. Applications Made to Hydrophobic Pesticide Hydrophilic

Mesoporous silica particles are used for controlled drug release, to increase the bioavailability of drugs and to increase their capacity to load silica particles. In order to increase the drug solubility, the mesoporous silica fraction is used and the silica fraction is loaded with chromium metal to increase the drug activity (Günaydın et al., 2014; Rosenholm et al., 2008).

5 MESOPOROUS MATERIALS

The pore size is defined by IUPAC as an entangled mesoporous material ranging from 2-50 nm (Wang, 2004). Although many mesoporous materials have been described in the literature, most commonly known mesoporous materials; M41S family, SBA-n, HMS, MSU-n, MCF, FSM, KIT, TUD, CMK-n, FDU and so on. (N = 1, 2, ...) (Grieken et al., 2009). The initials of the names of the people who make the materials (abbreviations), the university or city where the synthesis is carried out, and so on. They are named with definitions. Such materials are especially preferred as adsorbent, catalyst and catalyst support because of their large pore sizes, especially when they have limited diffusion limitations, facilitate mass transfer and have high surface areas, and have a high active center ratio per unit mass (Meynen et al., 2009)

The synthesis of such materials is based on the formation of the silica wall on the surface active template and the removal of the surface active material from the surface after synthesis. The surfactant and silica

source used lead to differences in pore and wall properties (Wang, 2009).

Especially after the mesoporous MCM-41 material synthesized by Mobil Research Group in 1992, important studies have been carried out on this subject (Meynen et al., 2009). Subsequently, in 1998, SBA-15 material, which is notable for its similarity to the MCM-41 material, was synthesized using a triblock copolymer as a surfactant. MCM-41 and SBA-15 among the mesoporous materials frequently encountered in the literature, surface active materials used in their synthesis, silica sources, pH range and synthesis conditions are given in Table 5.1. Materials are numbered differently under the same name. Given that these numbers have no physical meaning, they indicate the synthesis number given during the entire synthesis work. In addition, Table 5.2 shows the physicochemical properties of SBA-15 and MCM-41 porous materials observed in the literature; Surface areas, pore sizes and wall thicknesses are given (Meynen et al., 2009).

5.1. Mesoporous Material Types

5.1.1. M41S

The M41S family, among the mesoporous materials, was synthesized in 1992 by researchers of the Mobil Research and Development Partnership. These materials, called MCM (Mobil Composition Matter), have found to have pore size ranging from 4 to 30 nm, large pore volume and high surface area (more than 1000 m² / g). The main members of this family are MCM-41 (one-dimensional hexagonal structure), MCM-48 (three-dimensional regular cubic structure) and MCM-50 (unstructured lamellar structure).

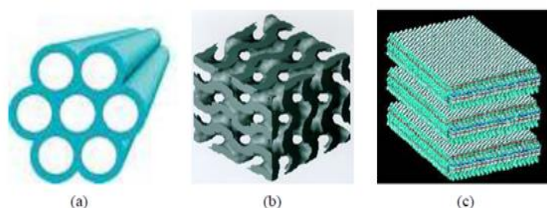


Figure 5.1. M41S family (a) MCM-41, (b) MCM-48, (c) Structure of MCM-50 (Meynen et al., 2009)

In literature, MCM-41 is generally synthesized in basic medium and cetyl trimethyl ammonium bromide is generally used as surfactant. Materials such as sodium meta silicate, tetraethyl ortho silicate and tetra ethyl ammonium hydroxide as silica source are often preferred in the synthesis stage. The regular pore structure of MCM-41 is a hexagonal mesoporous material with high surface area (> 800 m² / g) (Øye et al., 2001; Mohamed and Khalil, 2007; Chew et al., 2010).

5.1.2. SBA (Santa Barbara Amorphous)

SBA-15: The SBA-15 mesoporous structure, a major member of the SBA family, was first synthesized in 1998 by researchers at the University of California (Santa Barbara state). This organic material used as a surfactant is poly (ethylene oxide) -poly (propylene oxide) -poly (ethylene oxide) ((Cassiers et al., 2002)) which is an organic hexavalent mesoporous organosilicate amphiphilic block copolymer. PEO-PPO-P(EO) structure and it is defined as a good material with its amphiphilic character, cheap and biodegradable properties. SBA-15 has two-dimensional (2D) hexagonal (p6mm) meso structure and thick silica walls (> 31 Å) (Zhao et al., 1998, Du et al., 2011).

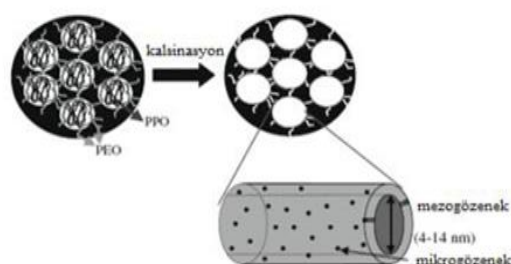


Figure 5.2. Before and after calcination, SBA-15 (Meynen et al., 2009)

Table 5.1. Mesoporous materials (Meynen et al., 2009, Zhao et al., 1998)

Mezozözenekli Malzemeler	Yüzey Aktif Madde	Silika Kaynağı	pH	Adlandırılma Şekli	Yapısı
SBA-x (Santa Barbara Amorphous)	F68 F127 L121 P123	TMOS TEOS Sodyum silikat	<1 asidik	SBA-1 SBA-2 SBA-3 SBA-11 SBA-12 SBA-14 SBA-15 SBA-16	kübik hekzagonal hekzagonal kübik hekzagonal kübik hekzagonal kübik
M41S (MCM-Mobil Corporation Matter)	CTMABr TDTMABr	TEOS Ludox Sodyum meta silikat	>8 bazik	MCM-41 MCM-48 MCM-50	hekzagonal kübik lamelar

Table 5.2. Mean surface area, pore size and wall thickness values of SBA-15 and MCM-41 (Meynen et al., 2009)

Malzeme	Bet Yüzey Alanı (m ² /g)	Gözenek Boyutu (nm)	Duvar Kalınlığı (nm)
MCM-41	>800	4-30	1-3
SBA-15	>600	5-100	3,1-6,4



Figure 5.3. Pore demonstration of silica-based SBA-15 (Zhao et al., 1998).

6 CHROME METALLIC

6.1. Effects of chromium on human health

Chromium, which affects carbohydrate, water and protein metabolism by providing insulin action in the body, is a metal everywhere in nature and is $> 0.1 \mu\text{g} / \text{m}^3$ in air and on average $1 \mu\text{g} / \text{L}$ in uncontaminated water. In most soils there is a small amount of chromium (2 - 60 mg / kg), while in some uncontaminated soils this value is up to 4 g / kg (<http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php? Id = #chromium>). It was first produced in 1789 by French L. N. Vauquelin and is called chromium, which means greek colors due to its multicolouriness. Nowadays it is used especially as an alloy element. The behavior of chromium in living organisms, especially in the human body, depends on the oxidation stage and the chemical properties of the oxidation stage and the physical structure of the environment. Average chromium uptake per day (in all values) averages between 30 and 200 μg . There is no

toxicological effect of chromium in this area and it meets the need of daily chromium in an adult person. Chromium taken up to 250 μg per day has no harm to body health. While approximately 0.5-3.0% of the approximately taken Cr^{3+} is adsorbed by the body, the adsorption of the Cr^{6+} 5 times (about 3-6% Cr^{6+}). The chromium which is adsorbed is generally discarded as a urea compound and the daily chromium is 0.5 - 1.5 μg , which is approximately equal to the daily chromium. The chrome in the solution is immediately adsorbed by the skin and the kidneys are expelled and excreted through the red blood cells (MTA, 2015).

The amount of chromium consumed per day is related to the consumed nutrients. Meat, cereals, legumes and spices are the best sources of chromium, dairy products, and many vegetables and fruits contain a small amount of chromium. Chromium deficiency in the human body manifests itself as diabetes. While chromium deficiency increases the toxicity of lead, excessive Cr^{6+} in biological systems causes different types of cancer.

Table 6.1. Daily doses of chromium that should be taken in an adequate and safe dose (Richard, 1998)

Yaş	Tavsiye edilen krom dozu
6 aydan daha küçük bebekler	10-40 μg
6 ay ile 1 yaş arası bebekler	20-60 μg
1-3 yaş arası çocuklar	20-80 μg
4-6 yaş arası	30-120 μg
7 yaşındaki çocuk-orta yaş arası	50-200 μg
Orta yaş ve üzeri	50 μg

7 RESULTS AND DISCUSSION

Because of its unique properties, mesoporous materials can be used in different areas. For example, they can be used as active complexes in catalytic applications due to their superior internal surface area

and tuning pore volume advantages. Due to the non-toxic nature and hydrothermal strength of mesoporous structures, scientists use silica mesoporous materials to perform biomedical research such as disease treatment. Adsorption is one of the major application areas of mesoporous structures. Large pore volume and flexibility can be used to absorb gasses, liquids and heavy metals. In addition to these application areas, mesoporous materials can be modified or easily combined with different materials.

The main objective of this review is to provide information to make hydrophobic drugs hydrophilic by using mesoporous silica particles. Mesoporous support material SBA-15 is much more effective than other support materials in catalytic applications due to its smooth structure and high surface area. At the same time, damage to the body (enzymatic depletion, hormone depletion, fat, protein depletion and muscle proliferation) during the treatment of cancer cells by loading chromium into SBA-15 will be minimized. It is a widespread use of curcumin, demonstrating that biocompatibility is poorly soluble in water and can be used in non-toxic controlled drug delivery systems.

REFERENCES

- A.A., Richard, 1998, Chromium, Glucose Intolerance and Diabets, *J Am Coll Nutr.*, 17, 548-555.
- Anonim, 2016, b, Curcumin, <http://www.zerdecal.org/curcumin-etki-alanlari.php>, erişim tarihi: 17.05.2016.
- Anonim, 2016, d, Zerdeçal, <http://www.sepenatural.com.tr/Turmeric-Zerdecal-Zerdecal-Curcuma-Longa,DP-1126.html>, erişim tarihi: 17.05.2016.
- D. Y., Zhao, J. L., Feng, Q. S., Huo, N., Melosh, G. H., Fredrickson, B. F., G. D., Chmelka, Stucky, *Science*, vol. 279, p.548, 1998.
- D. Y., Zhao, Q. S., Huo, J. L., Feng, B. F., Chmelka, G. D., Stucky, *J. Am. Chem. Soc.*, vol.120, p.6024, 1998.
- G., Du, S., Lim, M., Pinault, C., Wang, F., Fang, 2011, Synthesis Characterization and Catalytic Performance of Highly Dispersed Vanadium Grafted SBA-15 Catalyst, *Journal of Catalysis*, 253, 1,74-90.
- G., Gezer, 2013, Surface Functionalization of SBA-15 Particles For Celecoxib Delivery, Masters Theses, Middle East Technical University , 7p.

G. G., Liversidge, K. C., Cundy, 1995, *International Journal of Pharmaceutics*, 125, 91-97.

G., Øye, J., Sjöblom, M., Stöcker, 2001, Synthesis, characterization and potential applications of new materials in the mesoporous range”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 89-90, 439-466.

J. M., Rosenholm, M., Linden, 2008, *Journal of Controlled Release*, 128, 157-164.

K., Cassiers, T., Linsen, M., Mathieu, M., Benjelloun, K., Schrijnemakers, P., Van Der Voort, P., Cool, E. F., Vansant, 2002, Detailed Study of Thermal, Hydrothermal, and Mechanical Stabilities of a Wide Range of Surfactant Assembled Mesoporous Silicas, *Chem. Mater*, 14, 2317-2324.

MTA (Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü), 2015, Madenlerin Kullanım Alanları.

http://www.mta.gov.tr/v2.0/default.php?id=maden_kullanim#krom, erişim tarihi:17.05.2016

M. V., Regi, F., Balas, M., Colilla, M., Manzano, 2008, *Progress in Solid State Chemistry*, 36, 163-191.

P., Horcajada, A., Rámila, J. M., Vallet-Regi, 2004, *Microporous and Mesoporous Mater.*, 68, 105-109.

R.K., Das, N., U., Kasoju, Bora, 2010, *Nanomedicine*, 6, 153-160.

R., Grieken, J.M., Escola, J., Moreno, R., Rodriguez, 2009, Direct Synthesis of Mesoporous M-SBA-15 (M= Al, Fe, B, Cr) and Application to 1-Hexene Oligomerization, *Chemical Engineering Journal*, 155, 442-450.

Ş., Günaydın, 2014, Inclusion Of Celecoxib in MCM-41 Mesoporous Silica: Drug Loading and Release Property, Master of Science in Chemistry Department, Middle East Technical University, 7-8p.

T.L., Chew, A. L., Ahmad, S., Bhatia, 2010, *Advances in Colloid and Interface Science*, 153, 43-57.

T. M., Allen, P. R., Cullis, 2004, *Science*, 303, 1818-1822.

V., Meynen, P., Cool, E.F., Vansant, 2009, Verified syntheses of mesoporous materials, *Microporous and Mesoporous Materials*, 125, 170-223.

Y. M., Wang, Z. Y., Wu, J. H., Zhu, *Journal of Solid State Chemistry*, vol. 177, p. 3815-3823, 2004.

Authors addresses

²Tuğçe Güner, *Eskişehir Osmangazi University, Department of Chemical Engineering, Eskişehir/Türkiye, e-mail: tugceguner22@gmail.com,*

³Gizem Akbıyık, *Eskişehir Osmangazi University, Department of Chemical Engineering, Eskişehir/Türkiye, e-mail: gzmakb94@windowslive.com*

Contact person

^{1,*}Alime Çıtak, *Assoc.Prof., Eskişehir Osmangazi University, Department of Chemical Engineering, Eskişehir/Türkiye, phone: +90 222 2393750-3670, e-mail: acitak@ogu.edu.tr*

Investigation of the Reaction Kinetic of Cordierite Ceramics Production by Using Magnesite Filter Powder

Ayşegül Aşkın*¹, İlknur Tatar², Şule Kılınc³

Abstract: Different raw materials are used in the production of cordierite ceramics. In the production of cordierite with optimum properties, the costs of the production should be considered. Firstly, the amount of energy required for the formation of cordierite ceramics should be calculated. For this purpose, in this study, the reaction kinetics of the production of cordierite ceramics was investigated. The raw magnesite and magnesite filter powder were used as MgO source in cordierite formation. Activation energies and Arrhenius constants were calculated from DSC/TG analysis data by Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Flynn-Wall-Ozawa (FWO) and Coats-Redfern methods. The activation energy was found to be 112 kJ/mol for CW, 118 kJ/mol for CR according to the KAS method, 136 kJ/mol for CW, and 142 kJ/mol for CR according to the FWO method. The phase contents of the cordierite materials sintered at various temperatures and heating rates were determined quantitatively by the Rietveld analysis.

Keywords: Cordierite, Kinetics, Rietveld, Kissinger Equation

1 INTRODUCTION

The cordierite with optimum properties is present in the $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ formula at a stoichiometric ratio of 2:2:5 and is magnesium alumina silicate from the oxides of the $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ ternary phase system (Rohan et al., 2004, Gökçe et al., 2010). It contains 13.8% MgO, 34.8% Al_2O_3 and 51.4% SiO_2 according to stoichiometric calculations (Yılmaz and Kara, 2010). Cordierite, a high thermal resistance material, is characterized by its high thermal shock resistance and low thermal conductivity due to its low coefficient of thermal expansion (Li et al. 2013; Xu et al., 2016). Besides, the other outstanding properties of cordierite ceramics are low dielectric constant, high refractoriness, excellent mechanical property and good chemical durability (Li vd. 2013).

According to the orthorhombic and hexagonal polymorphic structures of $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ compound, there are 3 accepted forms, α -cordierite, β -cordierite and μ -cordierite. The high temperature form of dimorphous cordierite is indialite (α -cordierite) (Dimitrijevic and Dondur, 2007) and hexagonal structure. It has a stable structure at temperatures below 1450 °C (Pahari et al., 2016). The inditalite lattice parameters are $a=9.800$, $c=9.345$ (Meagher and Gibbs, 1977) and the space group is P6/mcc (Ebadzadeh and Lee, 1998).

Stable β -cordierite forms hydrothermally below 830 °C from glass or from the two other crystalline forms and the lattice parameters of this orthorhombic structure are $a=17.10$, $b=9.78$ and $c=9.33$. According to XRD, the interplanar spacing of β -cordierite is very similar to α -cordierite (Karkhanavala and Hummel, 1953). Furthermore, at temperatures below 1400 °C, the low cordierite or β -cordierite, the space group Cccm with orthorhombic structure, slowly turns into high cordierite, α -cordierite. The μ -cordierite is prepared with special compositions such as fine glass powder (Pahari et al., 2016) and is obtained by crystallization of this mixture at low temperatures of 800 to 950 °C (Sumi et al., 1998).

In order to determine the formation temperatures of cordierite, the kinetic parameters must be determined in order to determine the amount of energy required for formation. For this, non-isothermal methods for determining the kinetic parameters of thermal decomposition have many advantages (Pahari et al., 2016). In this study, the activation energy and pre-exponential factor were determined in cordierite formation by Kissinger-Akahira-Sunose (KAS), Flynn-Wall-Ozawa (FWO) and Coats-Redfern methods.

1.1 Methods of determining kinetic parameters and activation energy

While the cordierite ceramic material is sintering at high temperatures, the amount of energy that must be exceeded for activation of the chemical reaction is calculated. For this, the thermogravimetric analysis results and the KAS, FWO and Coats-Redfern Methods were used. The activation energy was calculated by KAS and FWO methods and pre-exponential factor (Arrhenius constant) was calculated by Coats-Redfern method.

The conversion rate of the mass losses occurring during phase transformation in CR and CW cordierite samples was calculated according to Equation 1 (Pahari et al., 2016). Here, x is the degree of conversion, m_i is initial sample mass, m_f is final sample mass, and m_t is current sample mass at the moment t during thermogravimetric analysis.

$$x = \frac{m_i - m_t}{m_i - m_f} \quad (1)$$

The respective sample starting masses measured for DSC/TG analysis at 10, 20 and 30 °C/min at each heating rate are 28.5, 28.1 and 28.9 mg in CW cordierite samples, and 24.67, 32.43, 36.77 mg in CR cordierite samples.

1.1.1 Method of Kissinger-Akahira-Sunose (KAS)

The KAS Method (Extended Kissinger Method) is one of the most important approaches used in determining kinetic parameters by thermal analysis. This method is based on an experiment in which milligram quantities of the reacting material are heat treated at different heating rates while the exothermic peak is recorded (Blaine and Kissinger, 2012). The KAS method is a model-free approach. This non-isoconversional method does not calculate E_a for each x conversion value and assumes a constant E_a (Pahari vd., 2016). The activation energy and the pre-exponential factor of the thermal decomposition reaction are calculated according to Equation 2 (Kissinger equation) (Ceylan and Topçu, 2014).

$$\ln\left(\frac{\beta}{T^2}\right) = \ln\left(\frac{A E_a}{R g(x)}\right) - \frac{E_a}{RT} \quad (2)$$

Here, E_a is the activation energy (kJ/mol), R is the universal gas constant (8.314 J/molK), β is the heating rate (K/min), T is the maximum exothermic peak temperature observed in the DSC curve (K) and A is the pre-exponential factor (Arrhenius constant) (Pahari et al., 2016). In the plot of $\ln(\beta/T^2)$ versus $1/T$, the slope gives $-E_a/R$ and the average activation energy can be determined by calculation in a conversion range from 0 to 1 (Ceylan and Topçu, 2014). A first order reaction order ($n = 1$) is usually assumed (Blaine ve Kissinger, 2012).

1.1.2 Method of Flynn–Wall–Ozawa (FWO)

Another method of thermal analysis is the model-free FWO method. In this iso-conversional method, E_a is determined by the following Equation 3 using the Doyle approach (Pahari vd., 2016).

$$\log(\beta) = \log\left(\frac{A E_a}{n g(x)}\right) - 2.315 - 0.457 \frac{E_a}{RT} \quad (3)$$

In the plot of $\log(\beta)$ versus $1/T$, the slope gives $-0.457E_a/R$ and the average activation energy can be determined by calculation in a conversion range from 0 to 1 (Ceylan and Topçu, 2014).

1.1.3 Method of Coats-Redfern

The Coats-Redfern method is a model free method derived from the Arrhenius equation. The KAS and FWO methods are suitable for calculation of activation energy, but Coats-Redfern method is used to calculate the Arrhenius constant (A) and this equation is given below (Ceylan and Topçu).

$$\ln\left(-\frac{\ln(1-x)}{T^2}\right) = \ln\left(\frac{AR}{\beta E_a}\right) - \frac{E_a}{RT} \quad (4)$$

According to Equation 4, in the plot of $\ln(-(1-x)/T^2)$ versus $1/T$, the slope gives $-E_a/R$, and breakpoint gives $\ln(AR/\beta E_a)$ (Ceylan and Topçu, 2014).

In the Coats-Redfern method, n is the parameter of Avrami, the degree of reaction and it is chosen according to Table 2. The Arrhenius constant (A) of the KAS and FWO equations can be calculated by Coats-Redfern method.

Table 1. The values of the n parameters for various crystallization mechanisms (Erkmen, 2012)

Crystallization Mechanism	Growth Dimension	n
Volume crystallization in the condition of number of fixed cores (in which case the number of cores is independent of the heating rate)	3D	3
	2D	2
	1D	1
Volume crystallization with increasing number of nuclei	3D	3
	2D	2
	1D	1
Surface Crystallization		1

2 EXPERIMENTAL PROCEDURE

In this study, raw magnesite, magnesite filter powder, 74 micron quartz and kaolin were used as initial raw materials in order to obtain cordierite phase. In our previous paper (Aşkın et al., 2016) we have reported the experimental procedure (the preparing method of the CW and CR cordierite compositions and sintering process (1250, 1300, 1325 °C)).

Figure 1 shows the particle size distribution of the samples. The grain size of d_{80} of CW and CR cordierite powders are 16.95 and 12.07 μm , respectively.

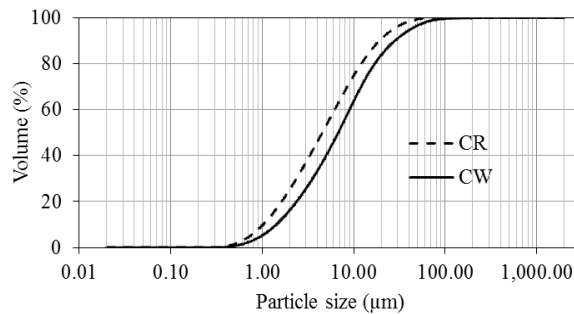


Fig. 1. Particle size distribution of CW and CR cordierite samples

2.1 Thermal Characterization with DSC/TG Analysis

The loss in masses and peak temperatures observed during the sintering of CR and CW cordierite samples were recorded. Setaram Labsyssevo thermal analyzer was used for this purpose. The temperature range was determined as 0-1200 °C and DSC (Differential Scanning Calorimetry) and TG (Thermogravimetric) analyses were carried out under argon inert gas at a flow rate of 50 ml/min. With these analyses, the endothermic and exothermic decompositions and formations, peak values and mass

losses, occurred during the reaction, were recorded in the cordierite samples.

In the DSC/TG thermal analysis method two or more basic analysis techniques are applied on a single sample at the same time. In this thesis study, the effect of temperature on cordierite powder material was investigated with reference to alumina. Crystallization activation energy and mass losses due to heat effect were determined from DSC/TG analysis data obtained at different heating rates of 10, 20, 30 °C/min.

2.2 Quantitative Analysis

The crystalline phases were identified by using an X-ray diffractometer (Shimadzu XRD-6000 model) with CuK α radiation (1.54 Å) and the range of the scanning angle was from 5° to 90° with a scanning speed of 2°/min.

Rietveld based quantitative analysis was performed on each of the diffraction patterns using the MAUD (Material Analysis Using Diffraction) programme (Lutterotti, 2010; Lutterotti et al., 1997), which is designed to simultaneously refine the material structure and the microstructure through the Marquardt least-squares method. (Palatinus et al., 2007).

3 RESULTS AND DISCUSSION

The E_a activation energies are determined by using KAS and FWO methods, and A Arrhenius constant is determined by using Coats-Redfern method. For this purpose, the degree of conversion values are calculated from Equation 1, the temperatures corresponding to the conversion values in each 0-1 range are determined.

The average activation energies calculated for the conversion values according to the KAS and FWO methods and the A Arrhenius constants calculated by the Coats-Redfern method are given in Table 3 according with the R² standard deviation rates.

Table 3. E_a and A values calculated for CW and CR cordierite samples

Sample	KAS			FWO		
	E_a kJ/mol	R ²	Coats-Redfern A	E_a kJ/mol	R ²	Coats-Redfern A
CMF	112.41	0.99	8E-11	118.63	0.99	2E-11
CM	136.24	0.95	6E-15	142.85	0.95	2E-15

In the CW cordierite sample, according to the DSC/TG analysis, the first endothermic peaks was observed at 95, 103 and 127 °C, respectively, at heating rates of 10, 20 and 30 °C/min, which can be attributed to the evaporation of absorption water (Tang, 2011). The strongest endothermic peak begins at kaolin dehydration at 538 °C leading to the transformation of α -quartz into hexagonal β -quartz (Kobayashi et al., 2000, Tucker et

al., 2001; Obradovic et al., 2016). This conversion is completed at 672, 692 and 714 °C. The cordierite formation on the CW samples started at 979, 991 and 1002 °C and was completed with α -cordierite formation at 1145, 1115 and 1150 °C.

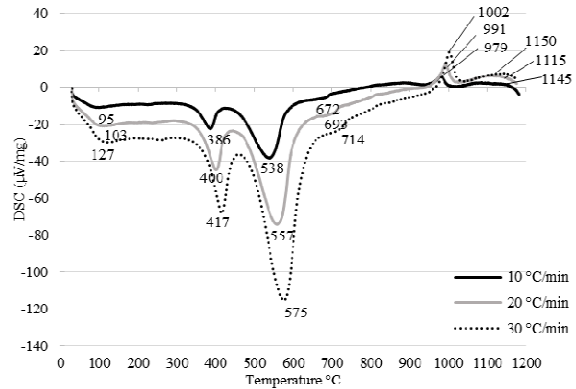


Fig. 2. DSC curve of CW cordierite at different heating rate

The strongest endothermic peak at 576, 619 and 604 °C begins kaoline dehydroxylation (Kobayashi et al., 2000) and leading to the transformation of α -quartz into hexagonal β -quartz (Tucker et al., 2001; Obradovic et al., 2016). This conversion is completed at 686, 728 ve 749 °C. The exothermic peak temperatures of 820, 831 and 835 °C were first observed in CR cordierite samples. At the cordierite exothermic peaks, two exothermic peaks of 994-1136 °C and 1000-1152 °C were observed with 20 and 30 °C/min, respectively, and these peaks were attributed to crystal phase change (Tang, 2011). At the 977, 1136 and 1152 °C exothermic peaks, α -cordierite formation was completed.

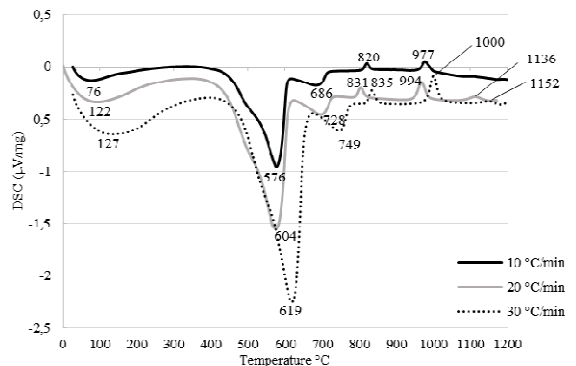


Fig.3. DSC curve of CR cordierite at different heating rate

Phases formed in CW and CR cordierite samples sintered at each temperature were identified from the XRD raw data. Subsequently obtained crystallographic information files (CIFs) was entered into MAUD. The lists of the PDF card numbers of the phases and crystal structures are given in Table 4. The quantitative ratios of the phases obtained from Rietveld phase analysis results are given in Table 5.

Table 4. The characteristic properties of phases for Rietveld analysis

Phase	Space Group	Crystal Structure	PDF Card No (cif no)
α -cordierite	P6/mcc	Hexagonal	01-082-1884 ^a 00-013-0293 ^b
β -cordierite	Cccm	Orthorhombic	01-076-6035 ^a 01-072-0172 ^b
Cristobalite	P41212	Tetragonal	00-039-1425
Forsiterite	Pmnb	Orthorhombic	00-034-0189
Quartz	P3221	Hexagonal	00-033-1161
Enstatite	Pbca	Orthorhombic	00-019-0768
Spinel	Fd-3m	Cubic	00-021-1152
Proto-enstatite	Pbcn	Orthorhombic	04-007-8621

4 CONCLUSION

In the production of cordierite ceramics, sintering was carried out at different heating rates (1.5, 2 and 3 °C/min) at 1250, 1300 and 1325 °C. The raw magnesite and heat treated waste magnesite filter powder were used as two different MgO sources. The α -cordierite formation on the CW sample starts at 991 °C and completes at 1115 °C, while the CR sample starts at 855 °C and completes at 1152 °C.

When the CW and CR cordierite samples sintered at 1250 °C are compared, approximately α -cordierite is present at 53% CR and 61% CW. As the sintering temperature increases, β -cordierite begins to form. CW cordierite contains 47% α -cordierite and 1% β -cordierite and CR cordierite contains 44% α -cordierite and 7% β -cordierite at 1300 °C at a heating rate of 3 °C/min. At 1325 °C, the amount of β -cordierite increased to 12%, while the α -cordierite was 61%. A total of about 75% of the cordierite phase was observed. The main phase and the desired phase in the cordierite ceramics are α -cordierite phase.

The Ea values were calculated as 112.41 kJ/mol in the CW cordierite sample and 136.42 kJ/mol in the CR according to the KAS method. The values were calculated as 118.63 kJ/mol in the KAS method and 142.85 kJ/mol in the FWO method for the CR sample.

Both methods do not show high differences in the calculated activation energies. The Arrhenius equations for the KAS and FWO equations are calculated by the Coats-Redfern method and are given in Table 3.

Acknowledgements

The authors would like to thank Assoc. Dr. Hakan Gaşan for his help in using the MAUD program.

REFERENCES

- A, Aşkın., İ Tatar., Ş Kılınç. (2017). The Utilization of waste magnesite in the production of the cordierite ceramic. Energy Procedia, vol.107, 1876-6102, p.137-143.
- R.L, Blaine., H. E. Kissinger. (2012). Homer Kissinger and the Kissinger equation. Thermochemica Acta, vol.540, 0040-6031, p.1-6.
- S, Ceylan., Y. Topçu. (2014). Pyrolysis kinetics of hazelnut husk using thermogravimetric analysis. Bioresource Technology, vol.156, 0960-8524, p.182-188.
- R, Dimitrijevic., V. Dondur. (2007). Thermally induced conversion of Mg²⁺ cation exchanged LTA, FAU, GIS and SOD zeolites: synthesis and characterization γ -cordierite, a new Mg₂Al₄Si₅O₁₈ polymorph. Journal of the Serbian Chemical Society, vol.72, 1820-7421, p. 1351-1362.
- T, Ebadzadeh., W.E, Lee. (1998). Processing-microstructure-property relations in mullite-cordierite composites. Journal of the European Ceramic Society, vol.18, 0955-2219, p.837-848.
- Z.E, Erkmen. (2012). Modern Fizik Takviyeli Malzeme Karakterizasyonu ve Temel İlkeleri, p.196-198, ISBN: 9759617950.

Table 5. Rietveld Analysis Results of CW and CR Cordierite Samples

Cordierite Code	CR	CW	CR	CW	CW	CW	CW
Sintering Temperature, (°C)	1250	1250	1300	1300	1300	1300	1325
Heating Rate, (°C/min)	3	3	3	3	2	1.5	3
α -cordierite (%)	53.72±1.7 ^a	61.13 ^a	44.45±15.1 ^b	47.37 ^a	54.23 ^b	5.72±0.6 ^a	61.21 ^b
β -cordierite (%)	-	-	7.33 ^a	1.41±0.1 ^b	11.06±1.3 ^b	70.62±1.6 ^b	12.07±2.0 ^b
Cristobalite (%)	26.08±9.4	16.19±1.1	-	-	7.30±0.3	-	-
Forsiterite (%)	16.1±0.8	7.39±0.5	-	19.81±1.5	17.47±1.1	10.99±0.5	-
Quartz (%)	4.07±0.2	15.27±0.9	-	1.41±0.1	-	-	-
Enstatite (%)	-	-	48.21±13.7	-	-	-	-
Spinel (%)	-	-	-	-	-	0.98	-
Proto-enstatite (%)	-	-	-	29.97±1.8	9.96±0.45	11.67±0.7	26.71±1.5
Sigma	3.13	2.74	2.33	2.73	2.30	2.09	2.07

^aa and b are the types of α -cordierite and β -cordierite PDF Card on Table 4.

- H. Gökçe (2002). Development and characterization of synthetic cordierite ceramics from natural raw materials. Metallurgical Engineering Master Thesis, Institute of Science and Technology, Istanbul Technical University, 127p.
- M. D. Karkhanavala., F. A. Hummel. (1953). The polymorphism of cordierite. American Ceramic Society, vol.36, 1551-2916, p.12
- Y, Kobayashi., K, Sumi., E. Kato. (2000). Preparation of dense cordierite ceramics from magnesium compounds and kaolinite without additives. Ceramics International, vol.26, 0272-8842, p.739-743.
- Y, Li., X, Cheng., R, Zhang., Y, Wang., H, Zhang. (2013). Effect of excess MgO on the properties of cordierite ceramic sintered by solid-state method. International Journal of Applied Ceramic Technology vol.12:2, 1744-7402, p.443-450.
- L, Lutterotti. (2010). Total pattern fitting for the combined size-strain-stress-texture determination in thin film diffraction", Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, B, vol.268, 0168-583X, p.334-340.
- L, Lutterotti., S, Matthies., H.R, Wenk., A.J, Schultz., J, Richardson. (1997). Texture and structure analysis of deformed limestone from neutron diffraction spectra", J. Appl. Phys., vol.81[2], 1089-7550, p.594-600.
- E. P, Meagher., G. V, Gibbs. (1977). The polymorphism of cordierite II: The crystal structure of indialite. Canadian Mineralogist, vol.15, 1499-1276, p.4349
- N, Obradović., S, Filipović, N, Đorđević, D, Kosanović., S, Marković., V, Pavlović., D, Olćan., A, Djordjević., M, Kachlik., K, Maca. (2016). Effects of mechanical activation and two-step sintering on the structure and electrical properties of cordierite-based ceramics. Ceramics International, vol.42, 0272-8842, p.13909-13918.
- G, Pahari., J, Singh., T.K, Parya. (2016). Non-isothermal decomposition kinetics of cordierite. Journal of the Australian Ceramic Society, vol.52, 2510-1579, p.41-51
- L, Palatinus., G, Chapuis. (2007). Superflip - a computer program for the solution of crystal structures by charge flipping in arbitrary dimensions. J. Appl. Cryst. Vol.40, 1600-5767, p.786-790.
- P, Rohan., K, Neufuss., J, Matejíček., J, Dubská., L, Prchlík, C, Holzgartner. (2004). Thermal and mechanical properties of cordierite, mullite and steatite produced by plasma spraying. Ceramics International, vol. 30, 0272-8842, p. 597-603.
- K, Sumi, Y, Kobayashi., E.K, Sumi. (1998). Synthesis and sintering of cordierite from ultrafine particles of magnesium hydroxide and kaolinite. Journal of the American Ceramic Society, Vol.81, 1551-2916, p.1029-1032.
- B, Tang., Y.W, Fang., S, Zhang., H.Y, Ning., C.Y, Jing. (2011). Preparation and characterization of cordierite powders by water-based sol-gel method. Indian Journal of Engineering & Materials Sciences, vol.18, 0975-1017, p.221-226.
- M. G, Tucker., D. A, Keen., M. T, Dove. (2001). A detailed structural characterization of quartz on heating through the α - β phase transition. Mineralogical Magazine, vol.65, 1471-8022, p.489-507
- X, Xu., X, Xu., X, J, Wu., X, Lao., Y, Zhang., K, Li. (2017). Effect of Sm₂O₃ on microstructure, thermal shock resistance and thermal conductivity of Cordierite-Mullite-Corundum composite ceramics for solar heat transmission pipeline. Ceramics International, vol.42, 0272-8842, p. 13525-13534.
- H, Yılmaz, F. Kara. Refrakter Malzeme Üretimi. MYO-ÖS, (2010), Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, Bilecik Üniversitesi, 21-22 Ekim, Bilecik from <http://docplayer.biz.tr/7197333-Refrakter-malzeme-uretdmd.html>.

Authors addresses

¹Ayşegül Aşkın, Prof. Dr., Department of Chemical Engineering, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir 26480, Turkey, phone:+90(222)2393750-3676, e-mail:aaskin@ogu.edu.tr

²İlknur Tatar, Dr., İlksem R&D Ceramic Engineering Co., Eskişehir, 26190, Turkey, phone:+90(222)2290990 e-mail: ilknurgulserver@gmail.com

³Şule Kılınç, Department of Chemical Engineering, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir 26480, Turkey, phone:+90(222)2393750-3671, e-mail:ssulekilinc@gmail.com

Contact person

*Ayşegül Aşkın, Prof. Dr. Department of Chemical Engineering, Eskisehir Osmangazi University, Eskisehir 26480, Turkey, phone:+90(222)2393750-3676, e-mail:aaskin@ogu.edu.tr

The 5S keys for Quality Management Improvement

*Gratiela Dana Boca*¹, *Lindita Mukaj*², *Vishkurti Marsida*³

¹*Technical University Cluj Napoca, North Center University Baia Mare, Faculty of Sciences,
Department of Economics*

¹bocagratiela@cunbm.utcluj.ro

²*Regional Department of Education, Durres, Albania*

²lindita_muka@edu.al

³*''Aleksander Moisiu'' University, FASTIP, Department of SME's, Durres Albania
e-mail: mviskurti@edu.al*

Abstract: An effective and quality work requires a clean environment, security and rigor in each department of an organization. The 5S's respectively Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu and Shitsuke are the bricks necessary to build a functional work environment, driven by simple, precise and effective rules. The 5S principle is the foundation on which the manufacturing management production builds a step of progress, as a lever of change management. Meanwhile, the 5S can be considered as basic rules of order, discipline, preliminaries unmistakable for an entire improvement of manufacture production. In this paper, we want to give a generator signal by using the 5S Audit survey as a concept for continuing improvement of technological process. The analyses of the paper take in consideration the data base from a survey used on 100 employers involved in production process and give some feed back upon the quality system and some practical solution.

Keywords: Improving quality, Quality audit, 5S, Production management

1 INTRODUCTION

5S are the five Japanese words that begin with the letter 'S'. SEI-RI (Sort) SEI-TON (Set in order), SEISO (Shining), SEI-KE-TSU (Standardization) SHI-TSU-KE (Self Discipline).

5S are the first steps for efficient company helping the quality management process to a continuing improvement of technological process.

The 5S is the foundation on which the manufacturing management builds a step of progress, creates a functional work environment and establishes simple rules, precise and effective.

Another strong point of 5S principle is the effective and quality work requires in a clean environment, security and rigor.

Following each step of 5S's the production management assurance the lean- manufacturing methods as a lever of change management.

Meanwhile, the 5S can be considered as basic rules of order, discipline, and preliminaries unmistakable for an entire improvement of technological process and prevent the elimination of loss and decreased the losses from different stages of product design and manufacturing process (Boca, G.D. ,2015).

It is important to note, however, that there will be no real improvement in productivity or quality if waste continues along the technological and manufacture process.

The 5W's can give the importance of the 5S Audit tool used to identify the problems and establish some solution to improve the quality management (Boca,G.D.2012). The internal audit in each organization presents the connection between the workers and their responsibilities in entire production process.

1.1. What we get with 5S?

5S implementation results in improvements application areas are on behind of more important changing attitudes towards staff and employers work and people to what they do on technological process.

It is necessary for everyone to be involved because it is impossible to start a 5S campaign with just one or two persons. The challenge is to make a regular thing using 5S which requires determination, perseverance and cooperation.

This kind of participation and combination between responsible and workers, in turn, creates a new sense of team identity and a better climate in the organization.

Each part of the 5S is important, each step has the power to open the eyes of personnel and it is the best way to start eliminating wastage.

It is Important to note is that there will be no real improvement in productivity or quality, if it persists waste.

The 5S is the foundation on which it builds a step of progress, the deployment means and methods lean-manufacturing site, as a lever of change management.

Meanwhile, the 5S can be considered as basic rules of order, discipline, and preliminaries unmistakable for an entire department, section form manufacture process. For that reason the paper wants to be a promoter of the change management and establish keys for a comprehensive model useful in each organization starting from the 5W's questions.

What we can identify using the method 5S ?

The method is useful for the efficiency of production, to identify what is wrong in the technological process, to verify and establish the relation machine-environment-

worker from different stages of manufacture process (Vele. C.L., 2012).

Another S assimilated recently because of the dynamic character of quality it is safety. The safety is important too, taking in consideration the environment and the internal condition from economical system and along the technological (Fig.1.).

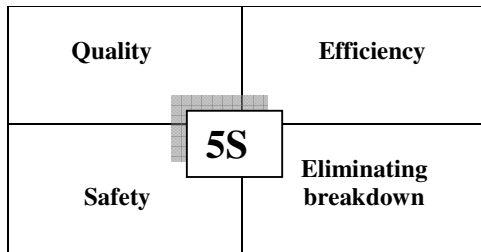


Fig.1. The 5S influence upon organization

Why? Kaizen Principles for continuous improvement using the S's are:

- a) There is always place for improvement;
- b) Teamwork in quality circles;
- c) Strong Personal discipline;
- d) Workers are confident about offering suggestions.

When? we can use the method? when a problem keeps occurring. The specific tool for improving the Quality Management is the ramp used to identify the weak point for a specific part of the technological process in organization management (Fig.2).

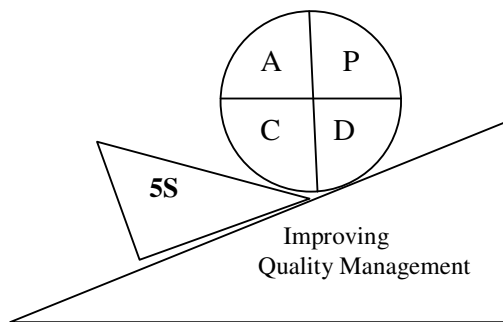


Fig.2. The connection between 5S and PDCA cycle

We can observe that 5S is an obstacle (passed or not passed) tool used to verify and check the PDCA cycle from production management process, (Boca, G.D. 2012).

Cycle of 5S is indeed re- evolutionary principle and he follows the PDCA (Plan-Do-Check-Action), expression of process improvements.

PLAN: first establish the environment and cleaning job. This phase, concrete can be exploited to plan actions, setting of objectives (Plan), actors (employees).

DO: Actions are taken (Do) and the result **CHECK** checked (Check).

ACT: finally, assess the gap between what was found and objectives (Action), is redefining the new shares (Plan) and their allocation per person.

2.1. PDCA vs. 5S's

5S method of organizing your workspace is a highly effective tool for lean management and brings visible results, given correctly and which can be easily implemented. On the same time it is possible to make the connection between 5S and PDCA cycle (Table 1).

Table.1. PDCA vs 5S's

PLAN	Planning	SORT
	Current situation	
	Cause analyze	
DO	Solutions	SET
CHECK	Results	
ACT	Standardization	STANDARDIZATIO N
	Solutions	
	Future plans	SUSTAIN

2. CASE STUDY -5S AUDIT

In this study, we present the results of applying the 5S Audit technique in a company from an important industrial producer, a very successful company and maintaining its position in the top of quality management from Maramures Region.

Targets defined in this study is based on indirect factors which can influence and act as motivational elements or obstacle.

Every month and year the company measures the performance and evaluates the company management process applying internal audit but in the same time external audit.

For our study the survey was applied in December 2016.

The internal audit were based on five major principles (sort, select, shine, standardization and sustain) using the standard 5S Audit survey.

The target was applied on 100 persons involved in two shifts from the same assembly section to put under the observation if each shift identify the same problems and missing elements.

The proposed of the study is internal audit done

- to identify the potential barriers earlier,
- to verify if on the assembly section the workers are maintaining the work space
- to observe if the employees are capable to organize the production activity.

By applying this type of audit, employees can realize the importance of his/her position in the process including here how to organize the workspace, why it is important the work place and environment to be clean, efficient work and safe environment while improving productivity and employee performance.

The survey were structured in five parts for each S covering the particular aspects and elements for the specific S. A scale format with a typical five-level Likert

item, were used from 1- strongly disagree, 2-disagree, 3- neither agree nor disagree, 4-agree and 5-strongly agree

The main purpose of implementation of the 5S method is to introduce the need for organizations, some standardized operational practices that provide effective solutions and reliable repetitive work. A standardized workflow within the company provides a solid basis for further improvements needed or type requested in the implementation of Lean tools.

At the same time, the 5S's provide a better view of the workspace, achieved performance by one of the most important aspects of the 5S method, namely identifying the problem and its immediate signaling.

3. RESEARCH METHODS

The study realised a descriptive analyze regarding the organizing and cleaning, developing and sustaining a productive job and create the basis of any process improvement using the 5S and establish aims:

1. Elimination of waste resulting from uncontrolled process;
2. A better control the location and position of equipment, materials and other goods inventory;
3. Application of control techniques to avoid damage to the improvements previously earned;
4. Scaling improvements for critical process parameters are maintained.

The audit survey was applied to a group of employees in the department Assembly, to identify problems in terms of Lean 5S tool.

3. RESULTS

After the questionnaire was completed, by the respondents, the results obtained are:

1. Seiri - Sort - Sort

Objectives :

- Sorting means right choice;
- What is required to be kept.
- What is useless to be removed from their jobs.

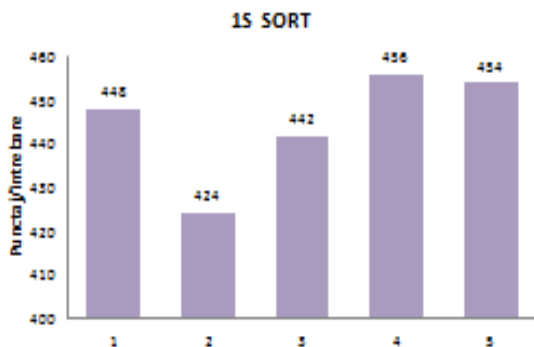


Fig. 3 Spider diagram score for SORT

By centralizing the scores for 1S=SORT (Fig.3) of the questionnaire, we emphasize that the company's purview, sorting is successful, the average scores is about 4.5 from the maximum possible. The result centralized obvious conclusion that the area is safe for the activity issued by unnecessary items.

2. Seiton - Set in Order - Select

Objective:

- Arranging means organizing the activity;
- Being able to easily find and use what you need.

For 2S=STRAIGHTEN of the questionnaire, we obtained that a 91% percent from selection stage is covered, which means that

- all locations for tools and equipment are labeled;
- there is visual control workflow;
- there is visual control equipment and process technology (Fig.4.).

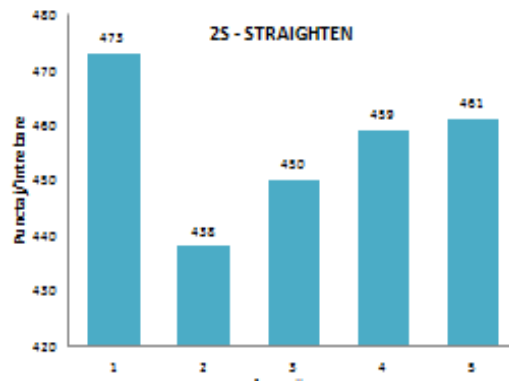


Fig. 4. Spider diagram for SELECT score

3. Seiso - Shine - Cleaning

Objectives:

- Cleaning means;
- To keep the workplace clean;
- Proper storage of tools and equipment.

Questionnaire for 3S=SHINE records a score of 4.7 points out of a maximum possible 5 indicating selective waste collection, recycling standards and proper storage of equipment and cleaners (Fig.5).

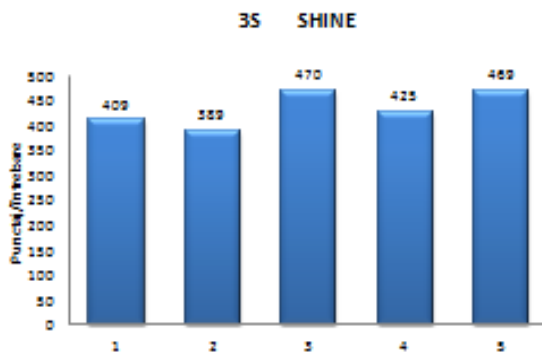


Fig. 5. Spider diagram for SHINE

Given that score the conclusion is that this department is new and all equipment and tools were purchased recently, the result was a certainty.

4. Seiketsu - Standardizing - Standardization

Standardization means:

- Maintaining the level reached after the implementation of the first 3S;
- Putting under observation the new S =safety.

Standardization as the fourth stage involves maintaining the level reached after the implementation of the first 3S. The situation obtained until now for assembly department section have quality on the fore under the international standards into continuous flexibility on a global market .

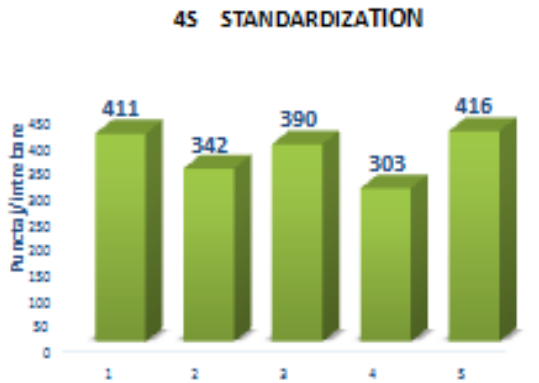


Fig. 6. Spider diagram score for STANDARDIZATION

Pooled from the questionnaires the 100 employees, reveal an average of 3.72 points from 5 maximum points. This score results for management is a signal to continue the actions started using 5S as part of the process of continuous improvement and establish a program with specific activities to improve the relation staff-quality.

5. Shitsuke - Sustain - Support

5S is more than just cleaning means keeping discipline by observing and reviewing standards when organization, technological process or staff needed (Fig.7).

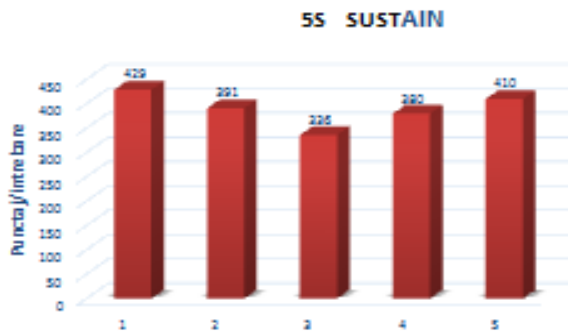


Fig. 7. Spider diagram for SUSTAIN

Average score is 3.89, which indicates that actions taken so far remain successful. The 5S =sustain reveal a week score in comparison with the first 3S which presents some interruption on the communication between the workers and the responsible with quality and audit verification 5S aims seams to become a future provocation for assambley department in the development of communication and dissemination of audit results in front of employeers and the necessity to expalin the importance of participation to the final results of quality audit.

The results will always be compared with previous ones to determine the way forward to maintain 5S in the assembly department.

As a final conclusion (Fig. 8) , the minimum values for 4S and 5S needs some measures to improve the score. One of the hardest stage will certainly be Sustaining (3.89) as required Standardization (3.72) efforts for maintaining and supporting actions.

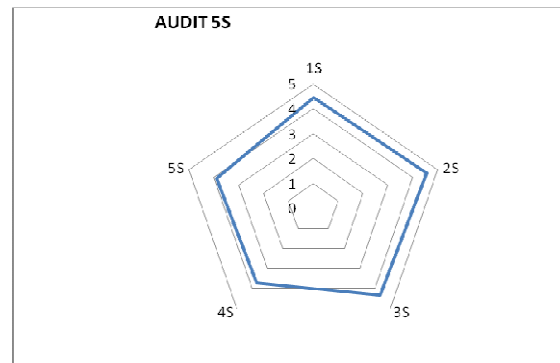


Fig. 8. The total score using 5S Audit

The minimum scores obtained is 3.72 points=4S, and the maximum is 4.56 points=2S, for each step in Fig.9. we present the final results for 5S Audit.

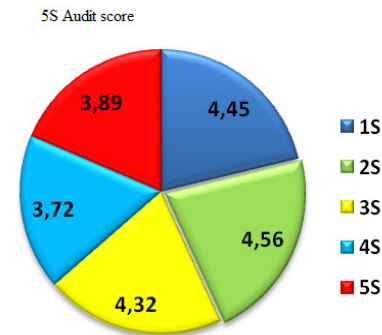


Fig. 9.Total average score for 5S Audit

In conclusion the future action for assambley department must be oriented to:

- communication of quality and audit results to staff;
- a sustain of staff in front of technological process in each stage of manufacture.

5. Barriers on Organization Culture of 5Ss

5.1. Structural Equation Modelling

If we take in consideration each S as a possible variable for organization, and taking in consideration the final results of survey we can establish models and create clusters for 5S Audit and establish the connection between the variables.

Structural Equation Modelling (SME) is a statistical methodology used as a tool for confirmatory hypothesis approach to the analyses of a structural theory in our case the 5S principles.

The study was conducted in same organization by distributing questionnaire to workers from the same shift, a total of 100 random samples are collected from two shift of the same assembly department.

SME is a collection of statistical technique that allows a set of relationship between one or more independent and dependent variables to be examined.

As a final feed back of 5S method would be the solution to fix the possible problems.

Taking in consideration the organization with input and output variables we establish the factors of perturbation like in Fig.10.

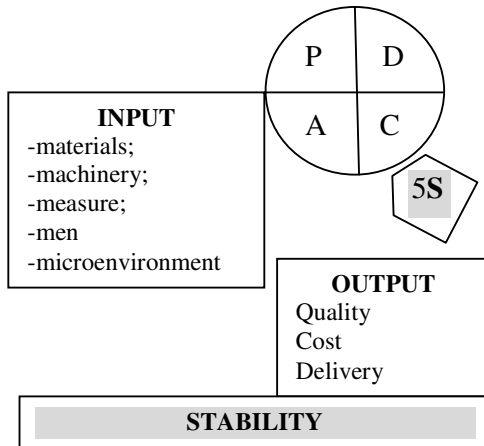


Fig.10. Production Management as a system

The hypothesis are:

- H0- it is a strong connection between 5S variables;
- H1- there is no connection between 5S variables.

To create a model we group the items from I1-I25, (Table 2) from the 5S survey and establish the following clusters for a four type of variables.

The keys to improve the quality management are established for four groups in function of each variable S taken in consideration for our future model for culture 5S (Table 3).

The majority of quality management problems items are in

- Cluster 4=50= quality environment, about the connection and communication staff-manager,
- Cluster 2 =34= safety environment –the relation for communication and information’s regarding the danger, signals visual and noise signals.

Table 2. Cluster Membership for 5S Audit

Case	4 Clusters
The area is freed from unnecessary items	1
The only tools required are	
Only materials needed are in the work area	
The area is safe from accidental events fall hazards	
Frequently used items are easily accessible work area	
All the elements are in excess deposit properly and outside work areas	
There is visual inspection and highlighted gupate workflow and process technology equipment	
All cleaning equipment properly stored and easily accessible	
All personal protective equipment are in the area	2
The lanes are clear and well marked straight	
All the work is like new	
No dust or dirt	
There painted items worn or damaged	
5S activities for checklists are available and are respected	
All areas of improvement since the previous audit are completed	
All graphs and values the work area are available	
The locations for tools and equipment are clearly marked and labeled	3
Garbage and recycling is carried in baskets of daily frequently	
Previous audit results are placed in visible area	
Recognition is given to teams that are involved and excel in 5S activities	
5S last evaluation was performed 1 month ago	4
A senior member of management participated in a adudit the last three audits	
Time and resource data for 5S activities in the work area	
An average score of at least 4 audit in the last three months	
An average score of at least 4 audit in the last 6 months	

Table 3. Keys to improve the management quality

Cluster	1	1,000
	2	34,000
	3	16,000
	4	50,000
	Valid	101,000
	Missing	,000

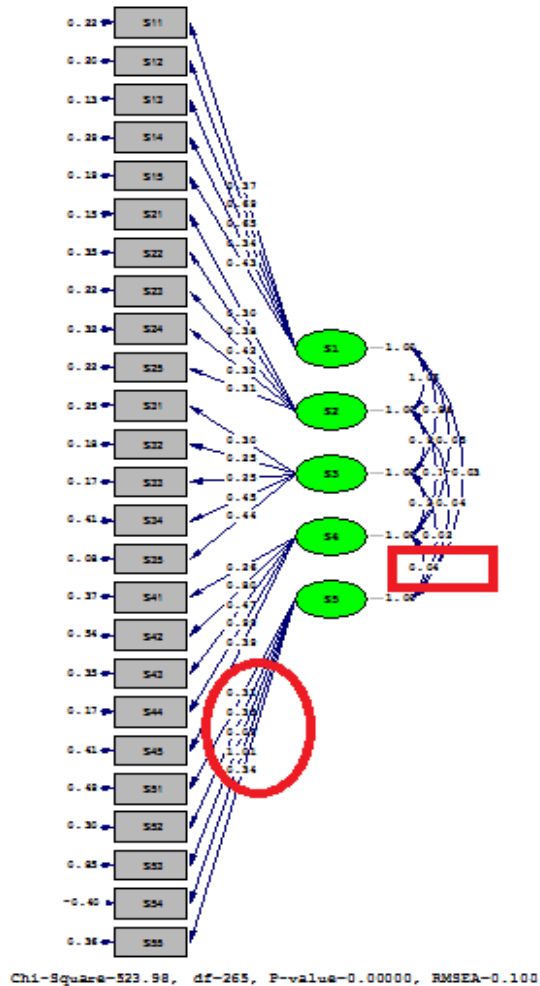


Fig.11. The 5S culture model

Because the model is under the estimation results with the survey results we can elaborate the 5S culture clusters for our organization Table 4.

Table 4. 5S culture clusters

Work environment	Work space Materials, tools Protection space	CLUSTER 1
Safety environment	Equipment Visual symbols Signals advertising	CLUSTER 2
Internal and external Environment	Satisfaction of results Recognition of team	CLUSTER 3
Quality environment	Communication Relation auditor –worker Dissemination of audit results	CLUSTER 4

CONCLUSION

Measures to improve

- Subsequently applying 5S technique, were implemented following
- visual aids for arranging the tables and tools for efficient organization of boxes with supplies for devices and tools
- Appointment of officers per shift to meet 5S
- Updating daily checklists with certain specific requirements 5S, reflecting certain daily and weekly checks
- Appointment of persons responsible for resupply cabinets products
- tools and supplies for those substances used in cleaning and paint application
- Assembling department of visual aids

REFERENCES

- [1] Boca G.D.(2015)- *5S in Quality Management* , 11th International Conference on "European Integration - New Challenges" - EINCO 2015, University of Oradea, Faculty of Economic Sciences, Annals of the University of Oradea, Economic Science Series Romania, 2015, Vol. 24, p1297-1307.
- [2] Boca G.D. (2012)–*SWOT Analysis to improve Quality Management Production*, Procedia-Social and Behavioral Sciences Journal, Vol 62. October 2012, pg. 319-25,DOI.10.1016/j.sbpro.2012.09.052
- [3] Boca G.D.(2012), The Effect of New Technology on product knowledge, Economics Sciences TOM XXI, 2ND Issue December 2012, pp.738-758
- [4] Vele,C.L.(2012)-Evaluating The Strategy Implementation Process, *Managerial Challenges of the Contemporary Society*, 2012, pp.192-195, Risoprint Romania

Authors addresses

¹ Gratiela Dana Boca, Technical University Cluj Napoca, North Center University Baia Mare, Faculty of Sciences, Department of Economics, bocagradiela@cunbm.utcluj.ro

² Lindita Mukaj, Regional Department of Education, Durres, Albania, lindita_muka@edu.al

³ Vishkurti Marsida', "Aleksander Moisiu" University, Department of SME's, Durres Albania, mviskurti@edu.al

Contact person

* Gratiela Boca, Technical University Cluj Napoca, North Center University Baia Mare, Faculty of Sciences, Department of Economics, 430122 Baia Mare, Maramures County, 76 Victoriei street.

How Theory's of Motivation are Implemented in "Kucova" Plant

Gaço TANKU¹ Vladimir MUKA² Piro TANKU³

^{1,2,3}University "Aleksander Moisiu", Durres, Albania

¹gaqotanku@hotmail.com,

²v.rmuka@yahoo.com

³piro.tanku@gmail.com

Abstract: This paper has the object to provide more information to CEO about how theory's of motivation are implemented in "Kucova" Plant. At the beginning I made sure to describe what motivation is. Considering that the usage of motivation theories in "Kucova" Plant and its structures are low and employees barely know its function. There was made a study between employees of different levels at this plant. The purpose of this survey was to find how informed are employees about motivation theories and which of motivation tools do they prefer. After that I explained all the survey's questions along with the statistics, further more to show that this survey was successful or not. The finalization of this concludes in the fact that there is very little information on motivation theories and is barely practiced at "Kucova" Plant. Some recommendations are made according to this conclusion.

Keywords: Motivation, Organization, Survey, Theories, Financial, Needs, Structure

1 INTRODUCTION

There are numerous theories of motivation and a lot of research and literature.

The question is: "What leads a person to behave in a certain way in his work place?"

An employee is in most cases motivated when he/she acts and works as he/she wishes, therefore he/she finds pleasure in their work. Motivation is lower when choosing to carry out work only for generating such income. The individual should also like what they do in order to have a result of his work.

Motivation of an individual is zero, unless it is organized independently of daily and its director constantly pressures upon the individual, thus the work becomes monotonous and the employee does not find any reason to continue and to improve the effectiveness of his work.

1.1. What is motivation?

There are many theories on motivation. Researchers have tried to discover the reasons why some people want to work and some do not, why some people are better than others and what motivates them to achieve results. Motivation depends on the individual, the situation or the people with whom we are working. Theories of motivation can only be used as a tool but managers of the company need to know when and how to use the right tool (theory).

According to Huczynski and Buchaman (2007, p.241) motivation can be regarded as a broad concept which includes preferences for particular outcomes, strength of effort (half-hearted or enthusiastic), and persistence (in the face of barriers).

These are the factors which a manager has to appreciate in order to motivate employees to behave in organizationally desirable ways. Motivation is the cause

of an individual's behavior or why an individual shows different types of behavior.

1.2. Theories of Motivation

Griffin and Moorehead (2015, p.11) in Organizational Behaviour, establish the base for theories of motivation. For decades, management experts advocated meaningful rewards for employees.

Most managers initially focused on pay as the basic reward offered to employees, but now many people understand that employees actually seek and respond to a variety of rewards from their work.

The perceptions and impact of rewards can vary. Every manager tries to choose certain motivation techniques that can be used to improve the performance of employees.

In order to capitalize on the potential for motivated behaviour, managers can use a number of strategies directed at enhanced performance to transform that potential into actual enhanced performance.

If a person feels the need of something, they will behave in a manner which enables it to meet this need, so they won't feel its absence. Human need creates tension in the mind of the individual.

This need can be met only by a certain behaviour that would liberate workers from the tension created.

However, if the need is not met for various reasons, the person may feel frustrated. Irritation can be defined as an accumulation of tension due to not meeting the needs.

At this stage the person will try to modify behaviour in eliminating the factors responsible for non-fulfilment of needs.

There will be a considerable number of factors, some of whom are outside its control.

1.3. Literature review

Motivation theories can be classified broadly into two different perspectives:

1) Content and Process theories.

Content Theories deal with “what” motivates people and it is concerned with individual needs and goals. Maslow, Alderfer, Herzberg and McClelland studied motivation from a “content” perspective. Process Theories deal with the “process” of motivation and is concerned with “how” motivation occurs. Vroom, Porter & Lawler, Adams and Locke studied motivation from a “process” perspective.

Theories of motivation that focus on the goals to which we aspire are known as content theories, as they reveal the contents of the motives compartment in our mental luggage. Maslow’s content theory of motivation aims to resolve the confusion between drive and motives, arguing that we have nine innate needs or motives³.

2) Content Theories about Motivation-Theory Z Abraham Maslow’s Hierarchy of Needs

According to this theory, individual strives to seek a higher need when lower needs are fulfilled.

Once a lower-level need is satisfied, it no longer serves as a source of motivation. Needs are motivators only when they are unsatisfied.

- In the first level, physiological needs exist which include the most basic needs for humans to survive, such as air, water and food.
- In the second level, safety needs exist which include personal security, health; well-being and safety against accidents remain.
- In the third level, belonging needs exist. This is where people need to feel a sense of belonging and acceptance. It is about relationships, families and friendship. Organizations fulfil this need for people (Huczynski and Buchaman, 2007), (Lauby, 2005).
- In the fourth level, self-esteem needs remain. This is where people look to be respected and to have self-respect. Achievement needs, respect of others are in this level.

In the top-level, self-actualization needs exist.

This level of need pertains to realizing the person’s full potential.

Theory X and Theory Y; Douglas McGregor proposed two theories related to employee motivation and management. Theory X employees avoid work and dislike responsibility. In order to motivate them, employers need to enforce rules and implement punishments. Theory Y employees enjoy putting forth effort at work when they have control in the workplace. Employers must develop opportunities for employees to take on responsibility and show creativity as a way of motivating Theory Y employees.

Alderfer’s ERG Theory: In 1969, Clayton P. Alderfer, simplified Maslow’s theory by categorizing hierarchy of needs into three categories: *Physiological and Safety needs* are merged in Existence Needs, Belonging needs is named as *Relatedness Needs*, *Self-*

esteem and Self-actualization needs are merged in Growth Needs Herzberg’s Two Factor Theory

Frederick Herzberg Theory introduced his Two Factor Theory in 1959. He suggested that there are two kinds of factors affect motivation, and they do it in different ways: *Hygiene factors-which determine dissatisfaction*. Hygiene factors are supervision, pay and job security, working conditions, company policies and interpersonal relationships.

Motivators: They are intrinsic factors such as achievement, recognition, responsibility, the work itself, advancement and personal growth.

Herzberg theory conforms to satisfaction theories which assert that “a satisfied employee tends to work in the same organization but this satisfaction does not always result in better performance”. In other words, satisfaction does not correlate with productivity.

Process Theories about Motivation-Expectancy Theory argues that humans act according to their conscious expectations that a particular behaviour will lead to specific desirable goals.

According to Vroom this theory asserts that the motivation to behave in a particular way is determined by an individual’s expectation that behaviour will lead to a particular outcome, multiplied by the preference or valence that person has for that outcome (Kinicki and Kreitner, p.10,2013), (Griffin and Moorehead, p.97,2015), (Griffin and Moorehead, p.104, 2015)

Goal Theory: Edwin Locke proposed Goal Theory in 1968, which proposes that motivation and performance will be high if individuals are set specific goals which are challenging, but accepted, and where feedback is given on performance.

The two most important finding are: setting specific goals because they generate higher levels of performance than setting general goals. The goals that are hard to achieve are linearly and positively connected to performance. The harder the goal, the more a person will work to reach it.

Adams’ Equity Theory: Developed by John Stacey Adams.

This theory suggests that if the individual perceives that the rewards received are equitable, that is, fair or just in comparison with those received by others in similar positions in or outside the organization, then the individual feels satisfied.

Adams asserted that employees seek to maintain equity between the inputs that they bring to a job and the outcomes that they receive from it against the perceived inputs and outcomes of others.

Need for achievement: is the desire to accomplish a task or goal more effectively than was done in the past.

Needs for affiliation: is the need for human companionship.

Needs for power: is the desire to control the resources in one’s environment.

Although these categories of needs are not exclusive, generally individuals develop a dominant bias or emphasis towards one of the three needs.

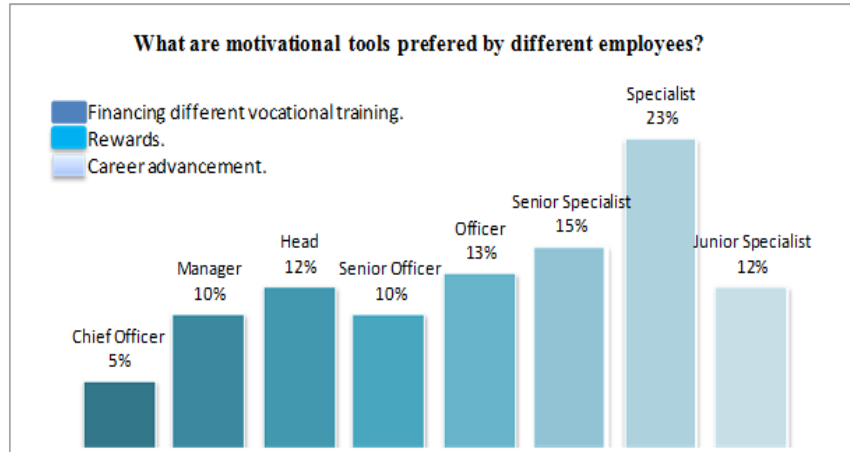


Fig.1. Motivational tools preferred by employees

2. Case study

How are motivation theories practiced and what types of motivation do employees generally prefer?

Businesses with unmotivated employees often face low productivity and high turnover rates.

In this part will be introduced analytically the statistical data retrieved from the survey.

The purpose was very clear and comprehensive from all the employees' perspective.

All levels of employees were subject of this survey. It consists of various questions regarding on how informed they are about motivation theories and how much are these theories applied in.

On the other hand subject of my study was to reveal the best way of motivation through various levels of employees.

There were conducted 60 surveys through various departments and different level employees also with different experiences.

3. Results

During the survey we questioned: Chief Officers whose participation was the lowest (5%) followed by Senior Officers and Managers participation which was (10%) while the Specialist participation was the highest (23%) followed by Senior Specialist with (15%) participation.

Among these employees (37%) of them has an experience between 5 to 10 years in this organizations, followed by them with an experience between 2 to 5 years (33%).

Among other questions, we noticed that employees obviously were not clear due to the fact that organization had any motivation theories written in any Memo or if they even existed.

And if yes then were they applied in organization (52%) of them replied Yes, indicating there existed motivation

theories and (48%) of them replied No, for no existence of any motivation theories while (57%) of employees replied were negative about the fact that this theories do not apply in organization, and (43%) of them were positive about this study.

In order to study the effects and establish a based view, it is generally accepted that knowledge and innovation play a basic role in organizational development.

During our study we grouped employees into grades and tried to investigate which group of employees would prefer, which mean of motivation to be applied in organization.

It seems that most of employees in lower grades as specialists etc. prefer the salary increase as it appears in the graph below, while the managerial level of employees mostly would prefer rewards and financial of different trainings that would increase their work performance.

There is a big gap between these two levels of employees and their motivation perception (Boca 2016, p.41).

Another critical condition that we noticed during the study of the survey was that employees do not feel highly motivated (Fig.1).

As is shown in the graph there is a different allocation between different grades of employees and their motivation levels.

A fact to mention is that highly motivated seemed to be Managers and Chief Officers while not motivated at all seem to be simple Specialists.

Not every motivation to superiors is satisfactory.

The right motivation for them is the goal of the organization and orientation.

Managers should encourage their subordinates to engage in activities to achieve the goal.

When the organization's goals coincide with individual goals can be assured that we are working with motivated staff (Fig.2).

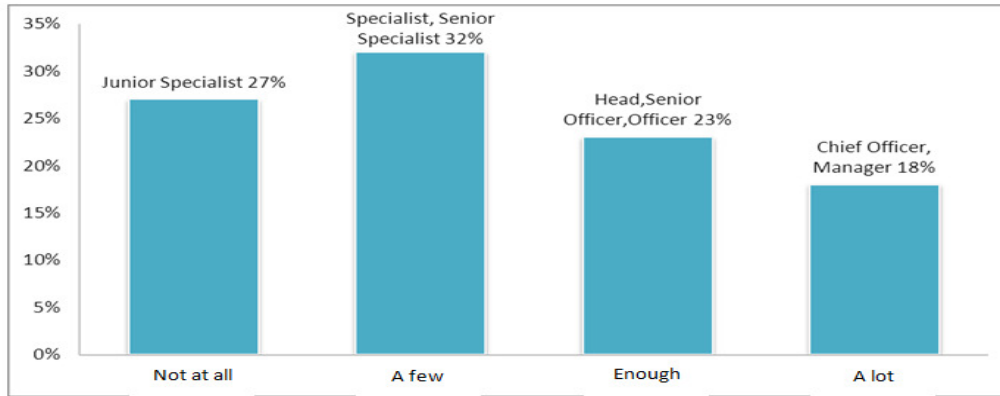


Fig. 2. Analyze the relation superior –subordinate

Senior Officers and Managers participation which was (10%) while the Specialist participation was the highest (23%) followed by Senior Specialist with (15%) participation.

Among these employees (37%) of them has an experience between 5 to 10 years in this organizations, followed by them with an experience between 2 to 5 years (33%).

Continuing with our analysis, many employees seemed to be pessimistic about the question “Opportunities on professional growing in your organization” because (58%) of them answered “Lack opportunities” in our organization while only (15%) said that there were “Enough Opportunities” and (5%) were highly optimistic about this indicating that organization gives a lot of opportunities to grow professionally (Fig.3).



Fig.3. Opportunities for carrier

Another question in my survey that we would like to analyses was “How important are the motivation politics for employees in my organization”.

Entrepreneurs usually have high degree of achievement needs. In this part will be introduced analytically the statistical data retrieved from the survey.

The purpose was very clear and comprehensive from all the employees’ perspective. All levels of employees were subject of this survey.

It consists of various questions regarding on how informed they are about motivation theories and how much are these theories applied in.

Consequently form the question above if organization would invest more in motivation politics and apply them fully in organizations inner environment then employees would be happier and motivated to give quality to their work performance. (98%) of employees are pro to this statement.

Among the alternatives for (57%) of employees motivation politics in organizations inside environment are very important while for (20%) of them was a not important as shown in the graph below (Fig.4).

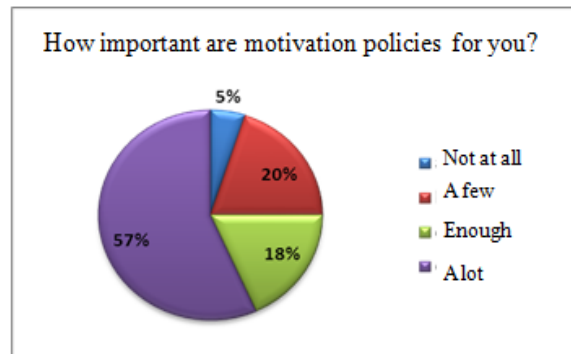


Fig. 4. The importance of motivation for employees

Due to the fact that highly motivated people generate high performance at work we stated the question below to my colleagues if this statement applied to their daily work. As you can see the allocation in the graph below (60%) of them stated that motivation encourages in their daily work to give better performance. Understanding which theory best fits your employees may help improve our business quality by increasing employee retention rates and improving worker productivity.

Among other questions, we noticed that employees obviously were not clear due to the fact that and if yes then were they applied in organization. (52%) of them replied Yes, indicating there existed motivation theories and (48%) of them replied No, for no existence of any motivation theories while (57%) of employees

replied were negative about the fact that this theories do not apply in organization, and (43%) of them were positive about this study.

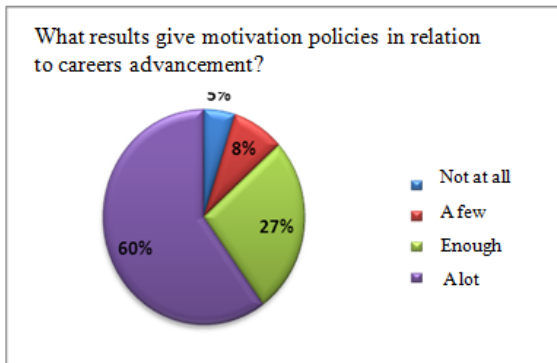


Fig.5. Motivation policies in relation to carers

On the other hand subject of our study was to reveal the best way of motivation through various levels of employees (McShane and Von Glinow, p.105, 2015), (.Huczynski and Buchaman, p.248, 2007). Organization had any motivation theories written in any Memo or if they even existed. In order to study the effects and establish a based view, it is generally accepted that knowledge and innovation play a basic role in organizational development for 98% (Fig.6).

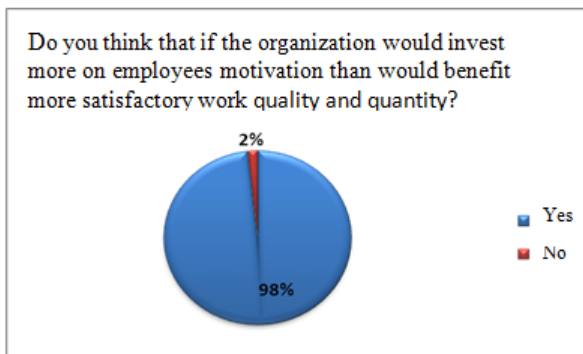


Fig.6. Basic role of knowledge in organization

4. Recommendations and Conclusion

Based on this survey, we conclude that the numbers of employees that are not satisfied with their work and are not motivated is high. In order to motivate them recommend:

- Would be better to write a procedure that indicates a specific method of motivation, which should be applied within organization every specific period for any level of employees.
- There should be many types of motivation politics to be applied within internal environment of organization in order for employees not to get bored with their everyday work and to motivate them with highly performance.
- Would be better to have different motivation methods through different employees, because it should depend on their performance and preferences.

Motivation application was the core of my study. The aim was to explain the theories of motivation and show that there should be given more importance to them in the inner environment of organizations. After the study are made the results were a great disappointment. Seems that my organization does not have any motivation politics implemented.

Employees consider some means of motivation as more important than others and they insisted that these means should be applied in the motivation process. This thesis also concluded in the fact that most motivated employees were the managerial level ones and they did not care about motivation application in "Kucova" plant as much as the specialist level of employees.

Finally, the lack of information shows a poor implementation of motivation theories and is very sad that books are full of great theories about motivation process. One of my recommendations is that motivation theories and processes should be more used in "Kucova" plant. Multiple theories help explain how workers are motivated and provide suggestions for how to increase motivation in the workplace.

REFERENCES

- [1] Andrej Huczynski and David A. Buchaman, Organization Behavior, p.241, 2007.
- [2] Gratiela Dana Boca (2016), Technical University Cluj Napoca, Faculty of Sciences, Impact of Knowledge Management Cluster in Albania SMES, First North International Conference on Economics, Baia Mare, September 23-24, 2016.
- [3] Griffin R, and Moorhead G, Organization Behavior, 2015. Managing People and organizational. Eleventh Edition, Cengage Learning. p.11
- [4] Huczynski A, and Buchaman D. (2007). Organization Behavior, Sixth Edition, Prentice Hall, Pearson Educated Limited, Edinburg Gate, England.
- [5] Kinicki A. and Kreitner R (2013), Organizational Behavior.
- [6] Lauby, S. J. (2005). *Motivating Employees*. USA: ASTD Press.
- [7] McShane S, and Von Glinow M (2015). Organizational Behavior, McGraw-Hill, Irwin.

Authors addresses

¹Gaço TANKU, University "Aleksander Moisiu", Durres gaqotanku@hotmail.com,

²Vladimir MUKA, University "Aleksander Moisiu", Durres, v.rmuka@yahoo.com

³Piro TANKU³ University "Aleksander Moisiu", Durres piro.tanku@gmail.com

Contact person

^{*1}Gaço TANKU, University "Aleksander Moisiu", Durres, gaqotanku@hotmail.com

Employee Creativity in Romanian Construction Companies. An Empirical Research

Cristian – Liviu Vele, PhD.^{1,*}

Abstract: *The constant shifts in today's business environment urge companies to always adapt to changes and also to adopt a more flexible behavior, constantly searching for innovative solutions to the problems they face. One of the most important part of this process is represented by the employees and their ability to identify and implement the most efficient solutions, in the shortest time possible. Thus, their creativity becomes a core competency that not only must be acquired but also developed and embedded in the companies' organizational culture. This paper sets out to offer a more comprehensive image on the level of employee creativity by presenting some findings on a research conducted on Romanian construction companies.*

Keywords: *Creativity, Innovation, Organizational Culture, Leadership, Strategy*

1 INTRODUCTION

The concept of creativity still remains a very elusive one. On one hand, creativity seems to be everywhere, but when trying to pinpoint it or try to define it we find ourselves in a difficult situation. More and more it is commonly accepted that employee creativity is an extremely important organizational asset as we live in an ever changing world, where structural changes in society and business environment are appearing in an ever-faster pace. Thus, new problems require new, innovative solutions that are based on creative, out of the box thinking. On the other hand, creativity is considered to be essential in order to ensure long – term sustainable development of organizations (White, 2004; Meinel & Voigt, 2016; Boca *et al.*, 2016).

From a traditional perspective, creativity refers to spheres in social life, such as arts or literature, while innovation refers to technological breakthroughs and the development of new products. This changed dramatically over the past years and now *creativity* and *innovation* are considered to be twins (Mann & Chan, 2011).

Creativity represents the production of high quality, original and elegant solutions to problems (Mumford, 2012). In order to produce creative outcome to different organizational problems, organizations need to design specialized processes that enable employees to become more creative. For this reason, creativity is considered to be both a process and also an outcome (Zhou & Shalley, 2008). Also, creativity implies the development of procedures and practices that are both novel and also generate positive outcomes in the organization's activity (Coelho *et al.*, 2011; Oldham & Cummings, 1996).

When talking about creativity it is imperative to distinguish between *Big-C* creativity and *little-c* creativity. While Big-C is concerned with creative work and creative genius, little-c focuses on finding the most efficient solutions to different everyday problems by employees that are not necessary leading experts in their field. Big-C involves finding solutions to difficult problems, the peak of Big-C being represented by original work. In contrast, little-c refers to simple

program-solving activities with day-to-day work and simple challenges, like fixing up a mixed order or ensuring that the raw material arrive in time (Kaufman & Mann & Chan, 2011; Kaufman & Sterberg, 2010).

2 INDIVIDUAL AND ORGANIZATIONAL CREATIVITY

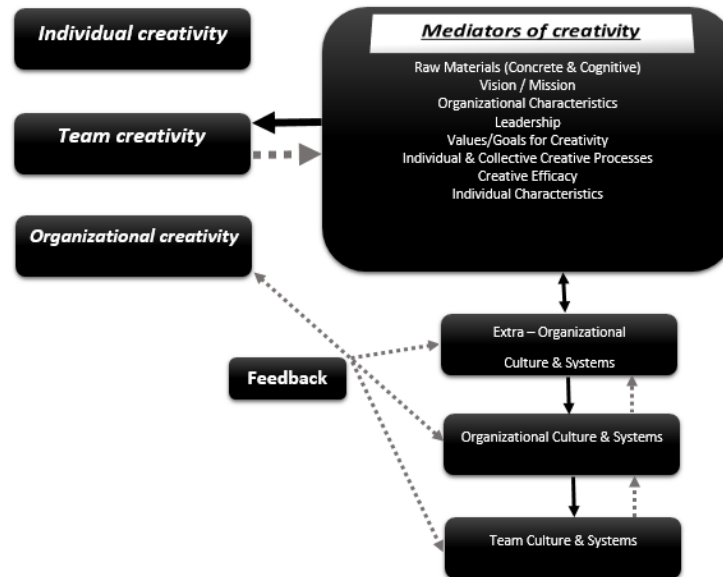
How creativity emerges and is supported within organizations can be explained by focusing on a series of individual capabilities and characteristics, such as personality and cognitive style and by factors present at the working place, such as organizational climate and the support of management (Mathisen *et al.*, 2012). Research shows that creative individuals prove to be *independent, nonconformist, unconventional, even bohemian, and to have wide interest and great openness to new experiences, being more flexible in thinking and willing to take greater risks*. It is also true that there are other, contextual, factors that actively influence creativity, factors like the diversification of experiences in order to brake the traditional barriers imposed by society, or experiences related to different challenges that are meant to strengthen the person's ability to cope with stressful situations and to persevere in order to achieve the desired goals (Mitchell *et al.*, 2003). Studying creativity at an individual level forces us to take a closer look at the employee's creative personality. While there is still room for discussion whereas creative personalities lead to creative employee (Zhou, 2003), a significant number of researches (Davila *et al.*, 2007) consider that the big five personality factors lead to the development of creativity in the employee's work. These factors are *conscientiousness, openness to experience, extraversion, neuroticism, and agreeableness*. Also, high levels of creativity have been noticed to employees that presented superior levels of self-efficacy. But, the fact remains that employee creativity cannot be fully used in absence of an organizational climate that supports creativity.

Mumford (2012) proposes a model of multi-level creativity, which shows the correlations between different defining elements of organizational and individual creativity. It is important here to remember

that creativity develops in an environment influenced by pattern, priorities, materials, trends, etc. Organizational cultures or large scale collectives channel creativity in certain directions in order to provide individuals with

raw materials, such as knowledge, skills or strategies that are used to foster creativity and lead to creative outcomes.

Fig. 1. A Model of Multi – Level Organizational Creativity



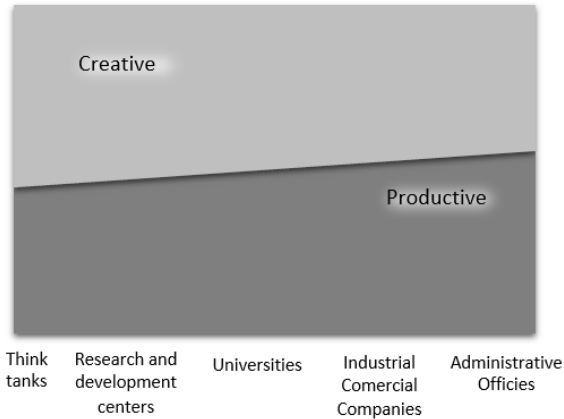
(Source: Mumford, 2012)

It is extremely important to see creativity in a holistic context, more specifically to see creativity within organizations. Organizational creativity refers both to the degree of creativity that is found within organizations and also to the extent in which organizations develop and support formal approaches aimed at creating a specific context in which employee creativity is encouraged (Styhre & Sundgren, 2005). In order to best understand how organizations can foster employee creativity we need to focus on the shared vision, on how decisions are taken within the group, on how internal conflicts are managed, the level of trust and support of other group members or on the support of innovation. Consolidating a shared vision and ensuring the commitment for the strategic goals set by that vision is paramount in order to increase the team's efficiency level. More, without a clear understanding of the desired goals, teams will have difficulties in developing new creative, innovative ideas that lead to organizational development. Participating in the decision making process can lead to high levels of creativity by comparing individuals in term of ideas and solutions to different problems and by offering and receiving feedback on individual performance. Also, sharing ideas with others and actively attending to other ideas increases the chances of producing innovative ideas. Creative ideas and innovation is believed to be a consequence of competition between different opinions and that conflicts can lead to an improve in the quality of ideas by defending them in front of others and by taking into consideration the different views of others (Zhou & Shalley, 2008).

In order to function efficiently within organizations individuals need to follow certain rules and procedures, because organizations are, after all, organized structures. But, creativity implies a great amount of freedom in order to broaden up one's perspective and to start thinking out of the box. So, in order to be creative, one needs to be under a small amount of constrains, but in order function efficiently organizations need to impose rules and regulations (Adair, 2007). Even more, the question to how to implement creativity within organizations arises. We can consider here two perspectives (Adair, 2007): first of all the creation of a separate research & development department within organizations that are, by definition, characterized by creativity and innovation or by transforming the entire organization into a creative and innovative one. In the first case the major problem is represented by the fundamental incompatibility between creative and non-creative workers. This incompatibility leads to difficulties in communication that can lead to a decrease in organizational efficiency and to a limited understanding of what the real objectives are. Transforming the entire organization into a creative one enables individuals to foster their creativity and manage it in a whole. But, certain functional departments within organizations are required to have a less creative and a more technical approach. Also, with the organization's development and growth the financial accountability of the resources and people involved imposes a more regulatory view and a less creative one. So, the question is how do we integrate creativity within organizations? The answer lies in the creation of a balance between

being creative and being productive. As Adair (2007) shows in the creative / productive model he proposes, there is a general trend for research organizations to become more like business and for industrial organizations to become more creative and innovative.

Fig. 2. The Creative / Productive Continuum



(Source: Adair, 2007)

As stated at the beginning of this article *creativity* and *innovation* are now considered to be synonyms. Designing an organizational climate that actively support creativity allows individuals to develop innovative solution to different problems, but also to develop new products. Thus, for managers of private companies having creative, innovative employees proves to be very profitable, as new products or solution deliver economic value and competitive advantage (Mann & Chan, 2011). But, there are questions to be answered here, one of these being *what the leadership role in fostering creativity is?* There are views that point out the fact that the relationship between leadership and creativity is not as linear as it might seem (Styhre & Sundgree, 2005). But despite this relative ambiguity between leadership practices and creative organizational behavior, it is still possible to identify recurrent patterns showing how the design of organizational structure, employee reward systems, team work or the principles on which managers support the creation of new products. The fact that certain companies have managed repeatedly to achieve breakthroughs might be explained with the help off the patterns above. Whatever the patterns that lead to creativity are, the fact remains that supporting creativity requires a new perspective and the use of organizational stabilizer and de-stabilizers, as Styhre and Sundgree point out (2005). Stabilizers are considered to be elements within the organization that do not change over time, they become rigid and insensitive to change, but they help filter away conflict, ambiguities and uncertainty. De-stabilizers are organizational elements that by nature are difficult to predict and change frequently. In order to foster creativity, organizations need to design organizational systems that are stable, so that employees have a sense of predictability. Such systems relate to planning, management control, external motivation or the use of projects. But, using de-

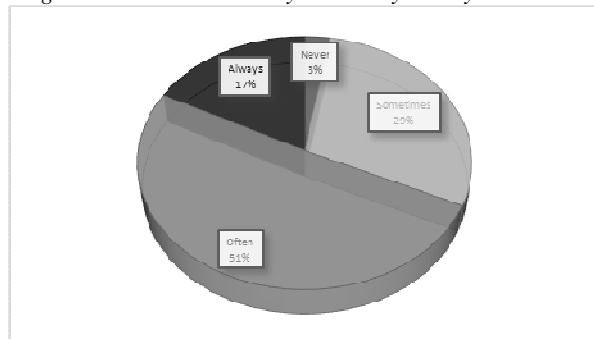
stabilizers really encourages individuals to become creative. For instance informal networks or information sharing enable individuals to use their intuition and to think out of the box. Having alternative arenas where people can share, discuss and defend their ideas offers both the chance for improvement and also stimulates employees to become better, thus offering valuable intrinsic motivation. The key for obtaining an organizational climate favorable for creativity is to create a balance between stabilizers and de-stabilizers by using efficient communication and sharing of strategic vision and goals. By doing this, managers will open up to new thinking and change, while the need to control everything will not be so strong and the use of dialogue will become an extremely important tool in leading others.

3 EMPIRICAL RESEARCH

The main goal of this article is to offer an insight on creativity within Romanian construction companies. For this, a comprehensive research was conducted on companies located in the North-Western part of the country, research that has provided more than 200 valid questionnaires, on which the following results are based. The questionnaires were focused on the level of creativity present in the employees' day to day work.

When asked how creative their work is, half of the respondents declared, as it can be seen in fig. 3, that their sphere of activity within the organization is often based on creativity, while 17% of respondents declaring that their activity is always based on creativity. Only 3% of the respondents declared that their work is never creative.

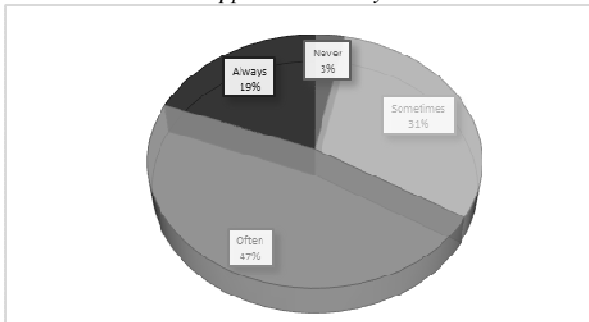
Fig. 3. The use or creativity in the day-to-day activities



(Source: self-representation)

When asked how supportive their organizations are in fostering creativity, as it can be seen in Fig. 4, 47% of the respondents answered that the organizational climate is often favorable to creativity and that they feel encouraged to be creative in their work, while 19% responded that their organizations fully support employee creativity. Only 3% said that the organizations in which they work do not support creativity. This allows us to conclude that the vast majority of the inquired companies actively support and encourage employee creativity.

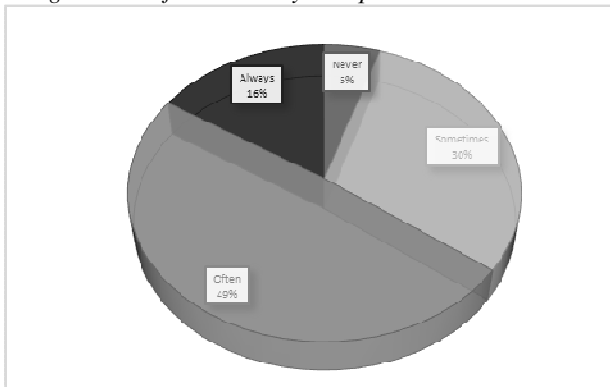
Fig. 4. The degree in which organizational climate supports creativity



(Source: self-representation)

Nearly half of the respondents, more specifically 49%, declared that they often need to use creativity in their day-to-day activity, while 16% said that they always need to be creative in their work. Only 5% of the employees involved in the study declared that creativity is never required in their work.

Fig. 5. How often creativity is required in their work

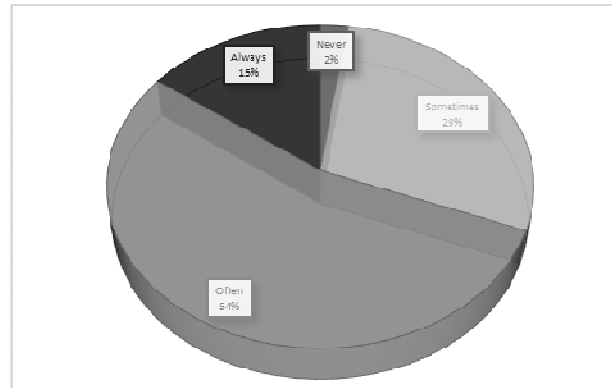


(Source: self-representation)

When asked about their opinion regarding how creative they are at work, more than half of the employees involved in the study, as it can be seen in Fig. 6, feel that their work is often creative and 15% of them consider their work to be always creative. Only 2% responded that their work is never creative and 29% consider that their work is often creative. With this result, we can state that nearly 2 thirds of the employees that work in construction companies see their work as creative.

Another important part of the study was to see if there is a relevant statistical correlation between certain leadership particularities and the development of a creative based organizational climate, and relatively strong correlation was noticed between creativity and managers that encourage new ways to perform day to day activities and to identify solutions to existing problems (the value of the Pearson correlation coefficient is 0,403 with a value of the significance coefficient of correlation being 0).

Fig. 6. The degree in which employees consider to be creative in their work



(Source: self-representation)

A not so strong correlation was identified between creativity and managers who persuade employees to analyze the problems they face from multiple point of views (the value of the Pearson correlation coefficient is 0,244 with a value of the significance coefficient of correlation being 0). The findings have shown that there is a possible link between employees that encourage new ways of performing the employees, but that link needs to be further tested as we could see that looking at a problem or situation from different perspectives does not necessary encourage employee creativity.

CONCLUSION

As we could see, the results of the research on the degree of creativity within Romanian construction companies, have revealed that, in general, the majority of the respondents consider their organizations as being supportive in creating and organizational climate aimed at fostering creativity. The reason behind this could be the fact that a large percentage of the individuals involved in the study declared that creativity is required in their day-to-day activities and that their work is characterized, in general, by a high level of creativity. Even, more the majority of the questioned organizations require a high level of creativity from their employees and, as a consequence, individuals consider their work as being very creative.

The findings are extremely interesting as the Romanian business environment is not considered to be a very creative one. But, it is required that more research is performed to identify the drivers behind creativity within Romanian companies and to better analyze the relationships between leadership and creativity, as the findings we gathered so far only offer a partial image of the entire picture.

Without a doubt, employee and organizational creativity will become major aspects in the future global business environment as competition becomes even greater and consumer preferences are changing at an ever greater pace. Thus, creativity needs to move out of the research and development centers and from

Universities and to spread out to private companies in order to lead to sustainable competitive advantages and to the creation of both new, innovative solution to everyday problems and, also, to new products and services better adapted to customers' demands and ever-changing needs.

REFERENCES

- [1] Adair, John, (2007), *Leadership for Innovation*, Kogan Page Limited, Philadelphia, PA, USA
- [2] Boca, Gratiela Dana.; Mukaj, Lindita; Vishkurti, Marsida (2016), CREATING A MODEL CULTURE OF MANAGEMENT CHANGE, *Annals of the University of Oradea*, Economic Science Series . 2016, Vol. 25 Issue 1, p871-880. 10p.
- [3] Coelho, Felipe, Augusto, Mario, Lages, Luis F., (2011). Contextual Factors and the Creativity of Frontline Employees: The Mediating Effects of Role Stress and Intrinsic Motivation, *Journal of Retailing*, vol. 87, no.1, p:31-45
- [4] Davila, Tony, Epstein, Marc, J., Shelton, Robert, (2007). *The creative enterprise : managing innovative organizations and people*, Praeger Publishers, Westport, CT, USA
- [5] Kaufman, James C., Sterberg, Robert J., (2010). *The Cambridge Handbook of Creativity*, Cambridge University Press, New York, NY, USA
- [6] Mann, Leon, Chan, Janet., (2011). *Creativity and Innovation in Business and Beyond*, Routledge Publishing, New York, NY, USA
- [7] Mathisen, Gro Ellen, Einarsen, Stale, Mykletun, Reidar, (2012), Creative leaders promote creative organizations, *International Journal of Manpower*, vol. 33, no. 4, pp.367-382
- [8] Meinel, Martin, Voigt, Kai-Ingo (2016), The Application and Impact of Creativity Techniques in Innovation Management, Proceedings of The XXVII ISPIM Innovation Conference – Blending Tomorrow's Innovation Vintage, Porto, Portugal on 19-22 June 2016
- [9] Mumford, M.D., (2012), *Handbook of organizational creativity*, Elsevier – Academic Print, USA
- [10] Mitchell, William J. , Inouye , Alan S., Blumenthal, Marjory S., (2003), *Beyond Productivity. Information Technology, Innovation, and Creativity*, National Research Council, The National Academies Press, Washington, D.C., USA
- [11] Oldham, Greg R. and Anne Cummings (1996), "Employee Creativity: Personal and Contextual Factors at Work," *Academy of Management Journal*, 39 (3), 607–34.
- [12] Styhre, Alexandre & Sundgren, Mats (2005), *Managing Creativity in Organizations*, Palgrave Macmillan, New York, NY, USA
- [13] White, Colin (2004), *Strategic Management*, Palgrave Macmillan, New – York, N.Y.
- [14] Zhou, J. , Shalley, C.E. (2008), *Handbook of organizational creativity*, Lawrence Erlbaum Associates, New York, USA

Author address

Vele Cristian - Liviu, PhD.
 Assistant Professor
 Technical University of Cluj Napoca
 North University Center in Baia Mare
 76 Victoriei st., 430122 Baia Mare, Romania
 +40 262 276059
cristian.vele@cunbm.utcluj.ro
cristian.liviu.vele@gmail.com

Cultural Barriers Model for Future Manufacturing Organization

Gratiela Dana Boca¹, Lindita Mukaj², Vishkurti Marsida³

¹Technical University Cluj Napoca, North Center University Baia Mare, Faculty of Sciences,

Department of Economics

¹bocagratiela@cunbm.utcluj.ro

²Regional Department of Education, Durres, Albania

²lindita_muka@edu.al

³''Aleksander Moisiu'' University, FASTIP, Department of SME's, Durres Albania

e-mail: mviskurti@edu.al

Abstract: This article presents the author's view of how a new reorientation of management culture should be defined and analyzed if it is to be used in the field of a new redesign production management. A brief introduction is provided, starting from the 5 W's about who, why, what, and where are the two countries Albania and Romania particularly East countries in different economical stage of development. How the production the engine of economy can be in a new situation, if it is possible to identify some common barriers in culture management. The results of case materials are presented to illustrate how using a culture model to analyze management culture and how to think about management culture changes. The paper present the concept of regional organizational culture and managers and entrepreneurs dilemma because there is presently local concept upon the production, how the people observed their production activities, how the economical activities are oriented in a specific field and how we can re-design a new concept of manufacture organization for future, a new MANU-FUTURE organization.

Keywords: Organization culture, Quality, Innovation culture, Management change, 5W's

1 INTRODUCTION

After Pianta (2014) research about the 2008 crisis, the European economies are moving towards a serious divergence in terms of industrial capacities, making it more difficult to achieve the Europe 2020 goals of developing high knowledge economics activities, expanding industry, reaching environmental sustainability and achieving greater convergence.

In Europe as a whole industrial production is still lower than eight years ago.

Italy is facing a structural loss in industries that have been the engine of past growth, with no other fast growing economic activity that could play a similar role in the future – finance is overblown and highly unstable; services suffer the slump in consumption; the public sector suffers cuts.

Nascia (2) and Pianta in 2014, 2015 taking in consideration the EU reports on research and innovation policies, provide a detailed picture of Italy's conditions and by translation we realized this paper to put in evidence the actions in these fields in Eastern countries.

A radiography of economical life it is necessary especially now when we are in the 21 Century with a big provocation for market and also for the economy.

As we know the engine and power of economy it is production, under the influence of the new reorganization of market under the global stamp, it is necessary to start to answer to the 5 W's.

Why we need a new type of manufacture organization as a new manufacture for future, because in East countries it is necessary a new redesign of the economy.

Pianta in 2016 identify a crisis management in Central, East and Southeast Europe, his question is : **What** is to be done?'

What we can re-organize in actual small and medium business, private activities, or what we can regenerate in actual manufacturing activities.

Where we can create the new type of MANU Future organization everywhere it is necessary to reactivate the resources and transfer the global information's from a partner to other in function of customers needs and utilities. This cross-industry dataset provides relevant and up-to-date information on a range of characteristics of innovative activities in Europe, thus making it possible to analyse some major features of sectoral innovation systems. The analysis here focuses on a set of important aspects that characterize the technological regimes and trajectories of the various sectoral groups.

When the new notion of global economy start and provoke the market the companies and organizations identify the new type of customers and the needs for new type of products in a free market.

Who can create that kind of manufacture, together all the actors involved in economical process taking in consideration the management change in each organization.

Because the answer to the 5W's was easy to discover to the **How?**

The question were necessary to make a research on actual market in different countries which are East countries and with an economy in transition on actual market.

The 5 How's for a cross functional management need methods to increase productivity (Fig.1)

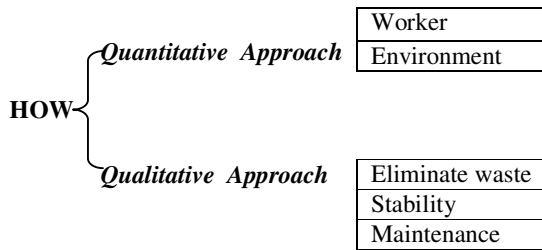


Fig.1. The 5 H's for cross functional management

Europe is an aging continent divided yet a two culture East and West with the best technology and rooted in ancient activities in production, public services on market.

The culture management can be also constructive especially now in an European Union market where multinationals companies and free movement on market is the ideal environment to build the future type of manufacture for future MANU FUTURE.

In new industrialized countries Pianta and Nascia (2014) suggest the public and private combination of efforts to develop knowledge, acquire technologies, invest in new activities, and expand foreign markets.

Another reason for a new industrial policy is reducing the polarization between the developed countries from center West countries and periphery countries resulting from the crisis (industrial-policy-and-technology-italy-matteo-lucch.php).

Another barrier on moving towards a new industrial policy is the new orientation for fundamental ecological transformation of the economy and society.

An comprehensive model can be important, to known and effective tool and how each country could contribute to address all these challenges – a new Europe-wide industrial policy (www.transform-work.journal/issue132013).

For the new European industrial policy we want to present and targeting associate environmental activities associated with sustainability appropriate ICT application, public services and new smart specializations (Pianta et. all, 2016)

A future vision for Europe 2020 can be a strategy which is capable to identify the common priorities in West and East culture knowing the barriers from market and economical life.

Some solution can be like Pianta suggest

1. smart growth;
2. an economy based on knowledge and innovation;
3. sustainable growth;
4. a resource efficient, greener and more competitive economy;
5. growth a high-employment economy with social and territorial cohesion.

2. METHOD OF RESEARCH

The method used in research were the survey applied in Albania and Romania in June 2016, in Baia Mare and Durres cities.

The number of respondents was 365 persons involved in different type of economic activities.

The participants answer to the survey structure in following parts:

- Part 1. Identify the manager typology (gender, education, experience) ;
- Part 2. Identify the type of business ;
- Part3. How many employees are involved in economical activity;
- Part 4. The specific of economical activity.

The hypothesis of the research was:

- H0- it is a connection between the management culture and economical activities;
- H1- if the differences between the countries can influence the perception of economical activities.
- H2 –it is a connection between the manager profile and business activity

3. CASE STUDY

Because the reason were to establish a new type of manufacture, it is important to identify the possible barriers between management cultures of organizations. We identify 5 elements which are required (Fig.2)

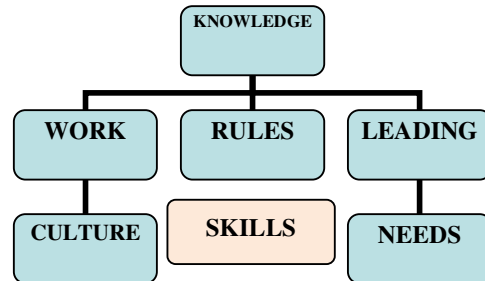


Fig.2. The 5 requirement for organization management

Pianta, Lucchese and Nascia (2016) in their research about the impact of industrial policy and technology consider that the fall of industrial production may lead – if domestic demand ever picks up - to a significant increase of final imports, a trend that has already emerged in the first two quarters of 2015.

This could generate serious trade imbalances in the near future, which will have to be compensated by greater capital inflows, further expanding private and public debt and the risk of financial instability (Castellacci, 2016).

A SWOT Analyze can give us few elements for the actual situation for two cities in our case Durres from Albania, and Baia Mare from Romania two famous cities under the UNESCO Heritage.

Strong point

- both cities are under a big historical story but none of them find a direction to rebuild the social and economical life.
- natural resources;
- human resources;
- factories and production history closed now because of different variables.

Weak points:

- the unemployment it is a provocation to establish how it is possible to create a sustainable economical platform for future;
- the emigration phenomenon;
- the production it is destroyed and need potential investment using Kairyo method;
- Kaizen method is not used to the small manufacture from the market.

That is why the orientation of the research was to the East countries market and how to encourage the production and management production to be capable to create a more "smart environment" for local, national and regional producers.

4. RESULTS

The possible hypothesis help us to draw a possible model, a comprehensive model of management culture and to identify the barriers as variables of influence or not. (see Table 1).

Table 1. Education Level * Country

		Country		Total
		Ro	Al	
Education Level	primary school	1	2	3
	high school	65	36	101
	vocational school	10	26	36
	undergraduate	33	39	72
	graduate	141	12	153
Total		250	115	365

For both eastern culture we identify a manager involved in business after he or she graduates high school and makes a specialization or qualify courses in field following profile for manager from a total of 365 respondents 225 persons are educated that means that we can consider education as a factor which can influence the participation on economical activities

Because we are creating a model to identify the barriers for management culture another part of the survey were focused to identify the type of activity from economy and how it is divided particularly in function of gender and culture.

If we take in consideration the gender the results present the influence of traditional culture in each country with impact upon people participation in economical activities.

In Romania 150 women in comparison with 100 male, are involved in small and medium business or production manufacture activities because they have different opportunities to open the business and make extra money to support the family budget (Table 2).

Table 2. A Cross Gender * Country presentation

		Country		Total
		Romania	Albania	
Gender	male	100	72	172
	female	150	43	193
Total		250	115	365

In comparison with Romania in Albania 62% from respondents are male involved in economical activities, so traditional culture can influence the orientation for production or heavy fields from economy, they are still the protectors of family.

Under the classification of Pianta (2014) and Pavitt (1984), from Table 3. it is easy to establish the market and economical pulse, where the entire activity it is under the influence of commerce and services.

The manufacture and production activity is very low in each country. 13 % percent from Albanians and 24 % percent from Romanians are involved in manufacture activities and production with big impact in economy.

In conclusion the opportunity to develop a new kind of manufacture organization for future taking in consideration the technological influence and create some regional and national clusters for the flexibility of information, methods and tools is necessary.

In the field of services 111 respondents are involved in retailer activities in comparison with the Albanians involved in services activities (barber, cosmetics, tailoring, mini shops, coffee bar).

The survey presents a big potential of tourism which is waste in both cities and in the same time which is not put in evidence.

For example the manufacture and production can be stimulated by producing pieces for revision of different vehicle, carpenter activities for tourism activities, furniture, metallic elements for garden.

Table 3. Type of economical activities * Country

		Country		Total
		Romania	Albania	
Type of economic activities	manufacture	59	15	74
	retailar	111	24	135
	wholesaler	22	22	44
	services	52	54	106
	other	6	0	6
Total		250	115	365

A deep information were given by the number and dimension of business which presents another barrier for manufacture production (Table 4).

Table 4. Number of Employees * Country

	Country		Total
	Romania	Albania	
0	0	1	1
1-10	118	65	183
Number of Employees	11-30	82	17
	31-50	34	8
	51-100	12	11
	101-200	4	13
Total	250	115	365

We can establish a radiography of the number of employees in Romania 47% are small and medium business, family and individual business oriented just for family and relatives members. Another barrier factor is the dynamic movement of hand work on a free global market for a stabile life.

The number of big organizations which are involved on economical activity with a big number of jobs is very small (Table 5).

Table 5. Legal Structure of the business * Country

		Country		Total
		Ro	Al	
Legal Structure of the business	single	117	76	193
	partnership	84	22	106
	limited	39	3	42
	partnership	10	14	24
	cooperation	250	115	365
Total				

In Baia Mare only 2% from activities involved a number of 100-200 persons in comparison with Durres where 9% percent from the entire activities is oriented to manufacture.

An equal score we have for the medium and small activities with a number between 50-100 persons involved in field of construction, or manufacture production and industrial activities. The results present a market without any orientation to involve a big number of employees in production or manufacture production sector, only family and individual business

The reason for the missing production activities on both countries can be a moral and technological wear sector without any perspective, facilities, destroyed in time and disaper.

4.1. Verification of Hypothesis

A Model to establish the connection between the variables considered as barriers' to management culture for manufacture production organization were created like in Fig.3.

To take in consideration for the model the culture with the following variable:

- 1) country with the barriers typology of manager or entrepreneur in function of education, age, fidelity in same organization;
- 2) type of business in function of business size, number of employers involved; type of business, legal activities and position of respondent people.

The results (Fig.3), sustain our hypothesis that between countries culture and business there is no connection because the score obtain for the 365 respondents from both countries is negative.

The low impact of production and manufacture production in both countries must be identifying taking in consideration other barriers for example global economy, the technological innovations, the new generation of customers with different needs and expectation.

Also the new reorientation of high schools and academic universities who can orient the future and actual generation in new fields like:

- nanotechnology;
- green management production;
- recycling of products which can generate also new jobs on market.

Another opportunity can be the education and reorientation of new generation to be involved more in practical activities for example the old school of art in Romania or the dual schools system in Albania which create the golden triangle on market school together with universities and economical organizations gives great opportunities for people.

4.2. Barrier model for production management

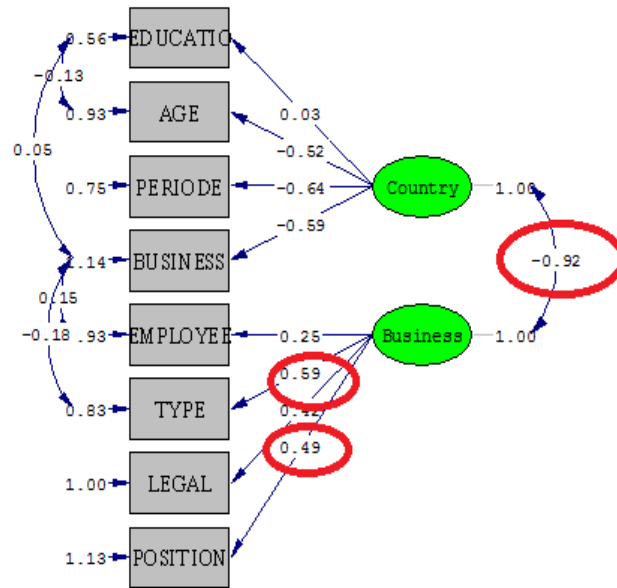
In Fig.4. we present the variables selected for our research culture, decision and organization in comparison with the other model from Fig.3 where we select only country and business.

For the new model the program solution present a negative connection between the culture and organization, organization business and decision business.

Analyzing the results for both countries we obtain a culture management model with:

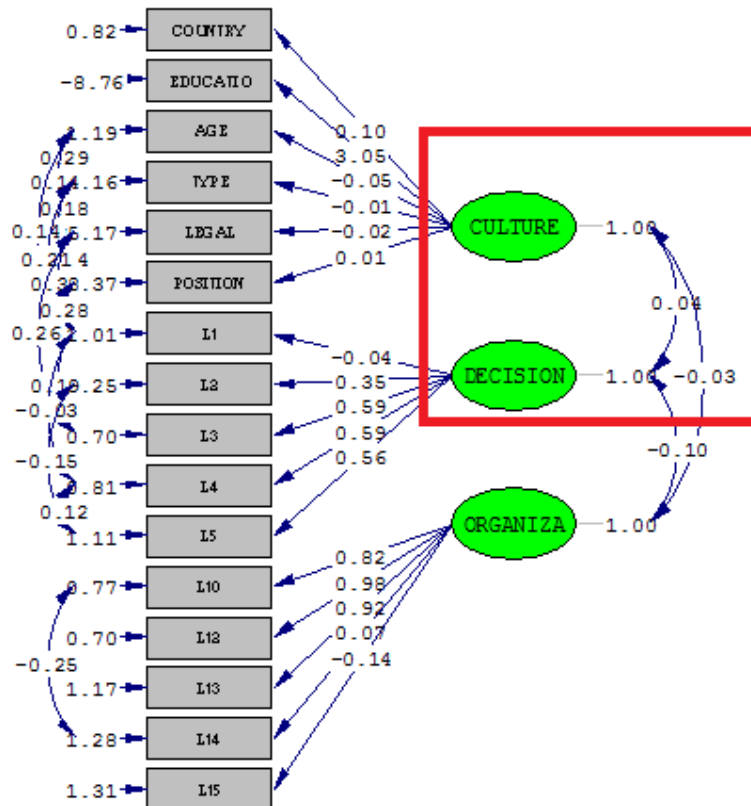
- A weak relation between
 $CULTURE - ORGANIZATION = -0,03$
 $ORGANIZATION - DECISION = -0,01$

• A strong relation between
 $CULTURE - DECISION$ the natural and national culture can influence the decision to a specific type of business.



Chi-Square=19.41, df=15, P-value=0.19555, RMSEA=0.028

Fig. 3. Barriers for Production Management



Chi-Square=164.38, df=86, P-value=0.00000, RMSEA=0.056

Fig.4 A Cross Model for Culture Management

A solution which is true, a hypothesis capable to present the barriers influence by the strongest relation between:

1. business and number of employers;
2. business and legal status

the weak relations are between manager/ leader and his business;

3. type of business (production, commerce);
4. manager position.

How we can improve the actual organization model with the new MANU-FUTURE model ?

By encouraging *the re-evolution of manufacture production* as an re –evolution.

In practical and economical life it is necessary to adapt and to be more flexible with the new elements from market, here we can include

- a continuing suport which can be done by universities;
- improvement and adaptation of curriculars to R&D and innovation.

Key findings include a possible barrier the fuzzy situation from higher education and public research sector, in balance with the performances of output variables from economical systems and productivity of the country's like Albania and Romania.

Current change is dominated by the diffusion throughout the economy of the paradigm based on ICTs a barrier which can stimulate the life long learning to a reorientation to that field

This is needed in order to coordinate industrial policy with macroeconomic and competition policies and action at the European level for influencing economic activities.

Major changes are required in current EU market regulations from “distorting” the operation of markets Fig.5..

Another changes of management needs a new orientation to:

- New questions;
- Take notes;
- Write instructions.
- Commitment to process improvement;
- Educates and training staff;
- Plan and look to specific process propose.

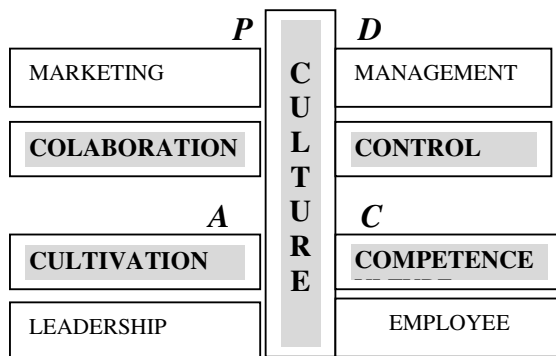


Fig.5. PDCA vs Culture Management

REFERENCES

- [1] Castellacci,F., (2016), Technological paradigms, regimes and trajectories: *Manufacturing and service policy and technology in Italy*, Rome Leopoldo NASCIA Istat,
- [2] Lucchese M, Pianta M, Working paper industrial policy and technology in Italy, Rome Leopoldo Nascia Istat,
- [3] Nascia, L., Pianta, M.(2014), ERAWATCH country report 2013: Italy, JRC Science and Policy Report, European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies.
- [4] Pianta, M., Lucchese, M and Nascia, L.,(2016) "Industrial policy and technology in Italy" *Economia e Politica Industriale - Journal of Industrial and Business Economics* Vol. 43 Iss. 3 (2016) p. 4 - 31
- [5] Pianta, M., (2014), An industrial policy for Europe. , *Journal of Economics*, 27, 3, Paper for the 9th Conference on Alternative Economic Policy in Europe, London 20 -22 Sept 2013
- [5] <http://docplayer.net/42424415-An-industrial-policy-for-europe.html>
- [6] <http://www.transform-network.net/journal/issue-132013/news/details/Journal/an/industrial-policy-for-europe.html>

Authors addresses

¹Gratiela Dana Boca, Technical University Cluj Napoca, North Center University Baia Mare, Faculty of Sciences, Department of Economics, bocagratiela@cunbm.utcluj.ro

²Lindita Mukaj, Regional Department of Education, Durres, Albania, lindita_muka@edu.al

³Vishkurti Marsida'Aleksander Moisiu'' University, Department of SME's, Durres Albania, mviskurti@edu.al

Contact person

¹Gratiela Boca, North Center University Baia Mare, 430122 Baia Mare, Maramures County, Romania, 76 Victoriei street,

Comparison of Phenomenological Level Density Models in (γ, n) Reactions of Uranium Isotopes

Ismail Hakki SARPÜN^{1,*}, Abdullah AYDIN², Eyyup TEL³, Ahmet BOZKURT⁴

Abstract: Level density is very important parameter for estimating nuclear reactions at excitation energies where discrete level information is not available or incomplete. The total reaction cross sections of uranium isotopes were calculated using TALYS 1.8 code for photon-induced reactions through the three phenomenological level density models in the incident photon energy range up to 30 MeV. All calculations from the present study were compared with the available experimental data obtained from EXFOR library.

Keywords: Cross-section, Uranium, Uranium isotopes, TALYS, (γ, n) Reactions, EXFOR

1-INTRODUCTION

The importance of level density in nuclear reaction calculation have been examined by several researchers [1,2]. In this paper, three phenomenological level density models used in TALYS, namely the Constant Temperature Model (CTM), Back-shifted Fermi-gas Model (BFM), Generalized Superfluid Model (GSM) were handled in the theoretical calculations of photo-neutron production in uranium isotopes. The detailed descriptions of these models are available in the literature [3-7]. Theoretical total cross sections of some uranium isotopes ($^{233,234,235,236,238}\text{U}$) were calculated using TALYS 1.8 nuclear reaction code [8] for photon-induced reactions through the three phenomenological level density models available in code. All the calculations were compared with each other and with the experimental data obtained from EXFOR [9] library.

2-CALCULATION METHODS

In this study, uranium isotopes are chosen due to their various nuclear applications. They are used in nuclear reactors and as fission materials. In the calculations, the TALYS 1.8 nuclear reaction code was used. Nuclear structure and model parameters are implemented through an internal reference library. Some basic parameters must be defined in the input file to calculate the cross sections. However, the input file should include some other input and output keywords to show effects of nuclear level density models in the output file [8].

3-RESULTS AND DISCUSSION

The total (γ, n) reaction cross sections of $^{233,234,235,236,238}\text{U}$ targets were calculated for five level density models using TALYS 1.8 code in 5-30 MeV incident photon energy range. The calculated results and available experimental data in EXFOR library are presented in Figs. 1-5.

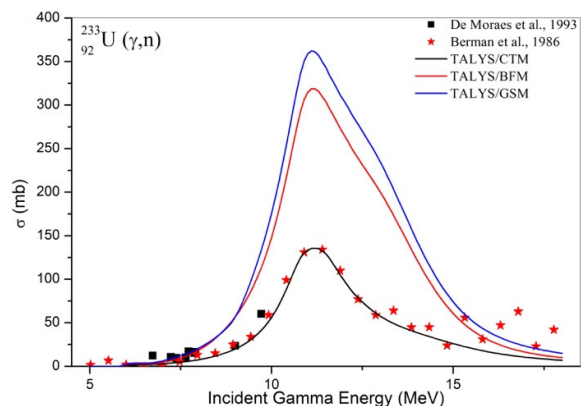


Fig. 1. Total cross section of (γ, n) reactions for ^{233}U nucleus according to different level density models [10-11].

According to the neutron contents, the target elements used in this study as expected for aspherical nucleus show clearly the Giant Dipole Resonance (GDR) does not split into two or more components (Figs. 1-5). The total reaction cross-section calculations of $^{233}\text{U}(\gamma, n)$ reaction have been compared with the experimental values of de Moraes et al. [10] and Berman et al. [11] in Fig. 1. All the theoretical level density model cross-section calculations are in shape agreement with the experimental results. The CTM results are in better agreement than the other TALYS code calculations. The calculated results of BFM and GSM are higher than the experimental values. $^{234}\text{U}(\gamma, n)$ reaction cross-section calculations have been compared with the available experimental values in Fig. 2. All the level density model calculations are in harmony with the measurements along the incident photon energy. The CTM calculations are in the best agreement with the experimental data in the photon energy range of 13-15 MeV. All the calculated results are higher than the experimental values of Berman et al. [11].

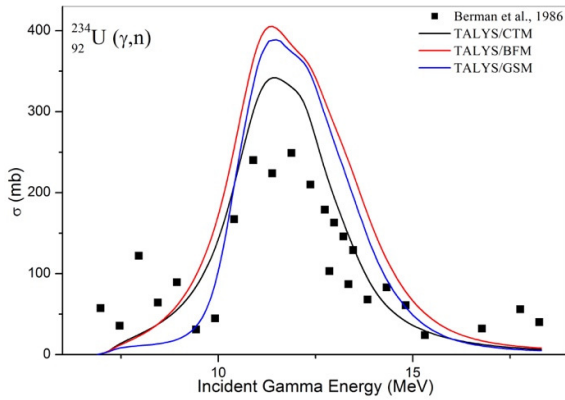


Fig. 2. Same as in Fig. 1, but for ²³⁴U [11].

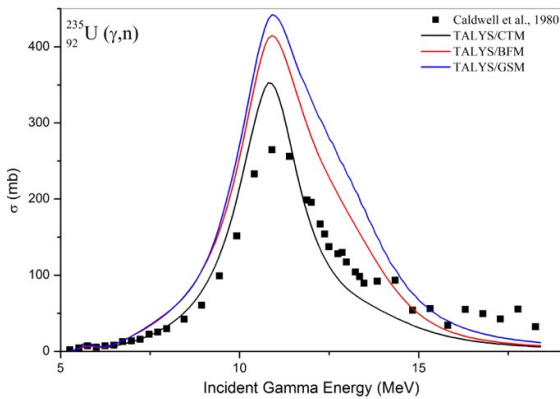


Fig. 3. Same as in Fig. 1, but for ²³⁵U [12].

The comparison of theoretical and experimental data of ²³⁵U(γ,n) reaction has been given in Fig. 3. All the model calculations are in shape-agreement with the experimental results. The CTM results are the nearest to the experimental data. The comparison of theoretical and available experimental data of ²³⁶U(γ,n) reaction has been given in Fig. 3. All the model calculations are in shape-agreement with the experimental results. All the calculated results are higher than the experimental values of Caldwell et al. [12]. The CTM results show better agreement than others

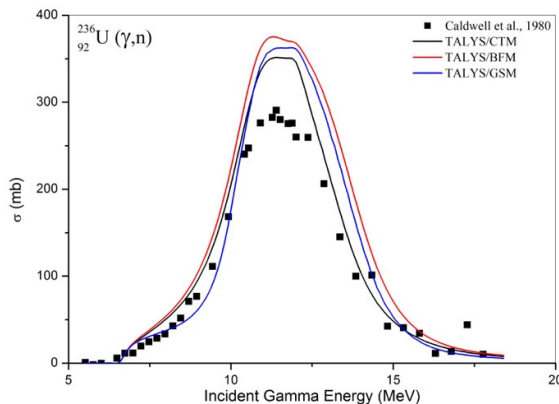


Fig. 4. Same as in Fig. 1, but for ²³⁶U [12].

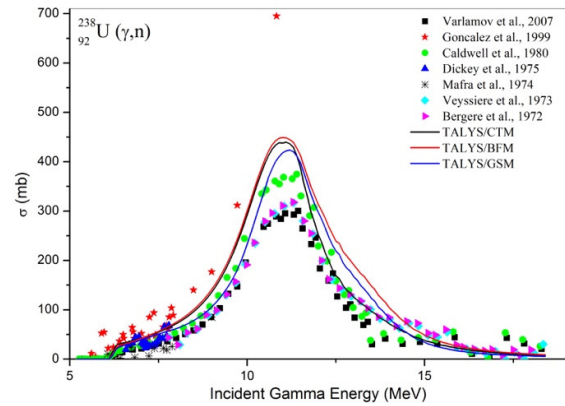


Fig. 5. Same as in Fig. 1, but for ²³⁸U [12-18].

The level density model calculations of ²³⁸U(γ,n) reaction and comparison with the available experimental results have been given in Fig. 5. TALYS 1.6 BSFM calculations are in harmony with the experimental data up to 15 MeV for this reaction. The theoretical level density model cross-section calculations are well-matched with the experimental results.

4-CONCLUSION

The (γ,n) reaction cross sections as a function of photon energy have been calculated using different phenomenological level density models of TALYS 1.8 nuclear reaction codes for uranium isotopes. The level density model cross-section calculations show a similar structure with the experimental data for all reactions. The good agreement between the calculated values and experimental data shows that TALYS 1.8 CTM level density model is able to produce reasonably (γ,n) reaction cross sections in this case even without any adjustment of the parameters. This model option for the level density model cross-section calculations can be chosen, if the experimental data are not available or are improbable to be produced due to the experimental difficulty.

ACKNOWLEDGEMENT

The study was supported by Afyon Kocatepe University Science Research Projects Coordination Unit with the grant number 17.KARIYER.22.

REFERENCES

1. A.J. Koning et al., (EDP Sciences, 2008) Proceedings of the International Conference on Nuclear Data for Science and Technology-ND2007, Nice, France, Apr. 22-27, 2007, Ed. by

- O. Bersillon et al., p. 211.
2. S. Hilaire and S. Goriely,(2006) Nucl. Phys. A **779**, 63.
 3. A. Gilbert and A.G.W. Cameron, Can. J. Phys. **43**,1446 (1965).
 4. A.J. Koning et al., Nucl. Phys.A **810**, 13 (2008).
 5. W. Dilg et al., Nucl.Phys. A **217**, 269 (1973).
 6. A.V. Ignatyuk et al.,Sov. J. Nucl. Phys. **29**, 450 (1979).
 7. A.V. Ignatyuk et al.,Phys. Rev. C **47**, 1504 (1993).
 8. A.J. Koning, et al., TALYS-1.8, NRG, Netherlands, <http://www.talys.eu>, (2017).
 9. EXFOR/CSISRS Database, <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>, (2017)
 10. M.A.P.V. de Moraes and M.F. Cesar, Nuov Cim A 106, 1165 (1993).
 11. B.L. Berman et al., Phys. Rev. C 34, 2201 (1986).
 12. J.T. Caldwell et al., Phys. Rev. C 21, 1215 (1980).
 13. V.V. Varlamov and N.N. Peskov, Moscow State Univ.Inst.of Nucl.Phys.Reports, No.2007, p.8/829 (2007).
 14. O.L. Gonzalez et al., Nucl. Sci. Eng 132, 135 (1999).
 15. P.A. Dickey and P. Axel, Phys. Rev. Lett. 35, 501 (1975).
 16. O.Y. Mafra et al., Nucl. Phys. A 236 (1), 1 (1974).
 17. A. Veyssiere et al., Nucl. Phys. A 199, 45 (1973).
 18. R. Bergere et al., Conf. Nucl.Structure Studies, Sendai, Japan,

Authors addresses

¹Ismail Hakkı SARPUN, Assoc.Prof, Afyon Kocatepe University, Physics Department, Afyonkarahisar, Turkey, + 90 (272) 444 0303 /139, sarpun@aku.edu.tr

²Abdullah AYDIN, Prof.Dr. Kırıkkale University, Physics Department, Kırıkkale, Turkey, +90 (318) 357 4242/ 4086, a.aydin63@gmail.com

³Eyyup TEL, Prof.Dr., Osmaniye Korkut Ata University, Physics Department, Osmaniye, Turkey, +90(328) 8251818 / 3049, eyuptel@osmaniye.edu.tr

⁴Ahmet BOZKURT Akdeniz University, Engineering Faculty, Antalya, Turkey, +90 242 310 63 95, abozkurt@akdeniz.edu.tr

Contact Person

*Ismail Hakkı SARPUN, Assoc.Prof, Afyon Kocatepe University, Physics Department, Afyonkarahisar, Turkey, + 90 (272) 444 0303 /139, sarpun@aku.edu.tr

Cross Section Calculations for ³⁹K using Skyrme Parameters

Eyyup TEL^{1*}, Abdullah AYDIN², Ismail Hakki SARPUN³, Hasancan ALKANLI¹

Abstract: Potassium is used as a K⁺ ion in herbivorous organisms, medicine and agriculture etc. Potassium is very important for health problems in living organisms. In this work, the cross sections were calculated with Skyrme force parameters for ³⁹K(n,α)³⁶Cl reaction. We calculated (n,α) reaction cross section using Tel et al. formula with Skyrme force. We compared our obtained data of ³⁹K with literature data from EXFOR around 14-15 MeV. Calculated results have been discussed and found very close to experimental results.

Keywords: Potassium, K⁺, Cross sections, Tel et al. formula, Skyrme force parameters

1- INTRODUCTION

Potassium was discovered by Humphry Davy in 1807 [1]. Potassium is a 1A group element of the periodic table, is in the alkali metal group and it is in the 4th period. In addition, it has 19 protons and 18 to 28 neutrons with a mass number ranging from 37 to 47. Potassium is used as a K⁺ ion in herbivorous organisms [2]. Furthermore, it is available in some fruits and vegetables, such as bananas and tomatoes [3,4]. There are many diversified areas of potassium's use at present time. For example, it can be used in medicine and agriculture etc. [4-6]. Therefore, it can provoke important health problems in living organisms. At the present time, investigation and learning of nuclear reactions involving potassium is important. In this study, we investigated theoretical cross sections data with Tel et al. formula for the ³⁹K(n,α)³⁶Cl nuclear reactions at incident neutron energy of 14-15 MeV. The cross sections were calculated using SKa and SKb Skyrme force parameters. The calculations have been made in the literature by using Skyrme force parameters for different parameters.

1.1- SKYRME FORCE AND CROSS SECTIONS FORMULAS

The Hartree-Fock method (HFM) with an effective interaction with Skyrme forces is widely used for studying the properties of nuclei [8-14]. The HFM was used for neutron and proton density and other calculations such as RMS, binding energy, etc. Li et al. [8] as an extended Skyrme force:

$$V_{\text{Skyrme}} = t_0(1 + x_0 P_\sigma) \delta(r) + \frac{1}{2} t_1(1 + x_1 P_\sigma) (\delta(r) k^2 + k'^2 \delta(r)) \\ + t_2(1 + x_2 P_\sigma) k' \times \delta(r) k + \frac{1}{6} t_3(1 + x_3 P_\sigma) \rho^a(r) \delta(r) \\ + i t_4 k' \times \delta(r) (\sigma_i + \sigma_j) \times k, \quad (1)$$

$$V_{\text{CS}} = \sum_{i < j} V_{ij}^{(2)} + \sum_{i < j < k} V_{ijk}^{(3)} \quad (2)$$

$$\rho_q(\vec{r}) = \sum_{\beta=q} w_\beta \psi_\beta(\vec{r})^\dagger \psi_\beta(\vec{r}) \quad (\text{q: neutron, proton or charge}) \quad (3)$$

Where $t_0-t_1-t_2-t_3-t_4-\alpha(r) = (1/(r_1-r_j))/2$ is the Skyrme force parameters [15]. V_{Skyrme} is Skyrme potential, $\vec{P}_{21} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$ is the momentum, δ delta functions, and $\vec{\sigma}$ is Pauli spin matrices. Skyrme force parameters have been used to analyze. Equation (3) has been shown the single-particle wave function ψ_β the occupation probability of the state β . There are many sets of Skyrme parameters in the literature such as SKa and SKb. SKa and SKb Skyrme force sets are defined by Chabanat et al. [16-17] (Table 1). Tel et al. [7] developed a new empirical formula for neutron induced reactions. These formulas have been given as follows;

$$\sigma(n, \alpha) = 16.15(A^{1/3} + 1)^2 e^{-33.01s} \quad \text{for } 20 \leq A \leq 239 \quad (4)$$

2- RESULTS AND DISCUSSION

In this work, firstly we obtained the neutron-proton densities of ³⁹K₂₀ target nuclei using the SKa and SKb Skyrme Force parameters (Table 2) in Figs. 1 and 2. In this study, the asymmetry parameter $S = (N-Z/A)$ changed as $S = [(pn-pz)/(pn+pz)]$ in the equation (4), namely Tel et al. formula. The cross sections with SKa and SKb Skyrme force parameters were calculated for ³⁹K₂₀ target nuclei. We have used Skyrme parameters for calculation with the program HAFOMN [14]. We calculated (n,α) reactions cross sections with SKa and SKb Skyrme force parameters for Tel et al. formula. The (n,α) nuclear-reaction experimental data were compared with the theoretically obtained data for neutron incident energy at 14.1 ± 0.05 MeV, the experimental data is about $\sigma_{(n,\alpha)\text{exp}} = 84 \pm 12.6$ mb [18,20] and theoretically obtained is about $\sigma_{(n,\alpha)\text{theo}} = 92.624$ mb (at $r=6.9$ fm and SKa) ³⁹K for Tel et al. formula. For neutron incident energy at 14.6 MeV, the experimental data is $\sigma_{(n,\alpha)\text{exp}} = 20.1 \pm 2.2$ mb [19,20] and theoretically obtained is about $\sigma_{(n,\alpha)\text{theo}} = 19.69$ mb (at $r=6.6$ fm and SKb) for Tel et al. formula. As a result, the proton and neutron density depending on cross sections formulas, with SKa and SKb Skyrme parameters, are in agreement with experimental research.

Table 1: SKa and SKb Skyrme Force parameters[16-17].

	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	x_0	x_1	x_2	x_3	α
SKa	-1602.78	570.88	-67.70	8000	125	-0.02	0	0	-0.286	1/3
SKb	-1602.78	570.88	-67.70	8000	125	-0.02	-0.165	0	-0.286	1/3

Table 2: The obtained neutron and proton density with SKa and SKb Skyrme parameters

SHF Parameters	Proton density		Neutron density	
	R=6.600	R=6.900	R=6.600	R=6.900
SKa	0.00016	0.000088	0.00015	0.000079
SKb	0.00017	0.000091	0.00015	0.000076

3-CONCLUSIONS

We have been calculated for ^{39}K target core by using the HFM with an effective Skyrme force with SKa and SKb parameters. We obtained very agreement experimental data for new evaluated Tel et al. formula. In this method calculation results have been found very close to experimental results. This proves the successful and usefully for the nuclear reaction cross section calculations.

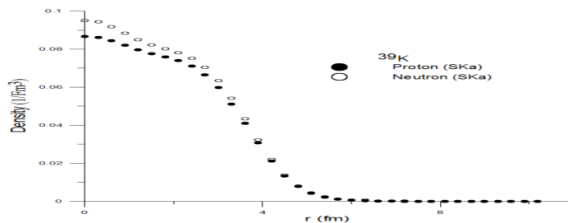


Fig.1. The obtained proton and neutron densities using the SKa parameter for ^{39}K .

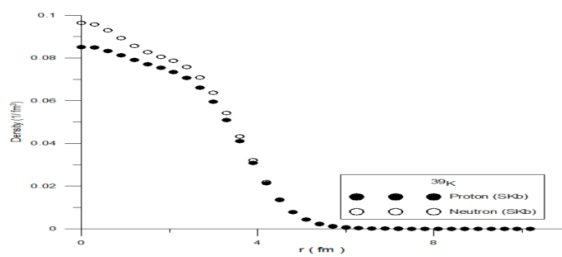


Fig.2. The obtained proton and neutron densities using the SKb parameter for ^{39}K .

ACKNOWLEDGEMENT

The study was supported by OsmaniyeKorkut Ata University (OKU) Science Research Projects Coordination Unit with the grant number OKÜBAP-2015-PT3-012

4-REFERENCE

1. Enghag, P., (2004), Encyclopedia of the elements. Wiley-VCH Weinheim
2. Mengel, K., and E. A. Kirkby. "Principles of plant nutrition, 887(1987).
3. Jones J.S., J Urol 171,353 (2005).
4. Lamid S. and Klingbeil G., Am J Clin Nutr 31:2135 (1978).
5. Sönmez İ. et al., Batı Akdeniz Agricultural Research Institute Derim journal 25(2) 24-34,(2008).
6. Schwartz G.J. et al., Pediatric Nephrology, 147-181 (2005).
7. Tel E. et al., Int. J. Mod. Phys. E 17 (1) 1-17(2008).
8. Li, G-Q., J. Phys. G. Nucl. Part. Phys. 17, 1-34(1991).
9. Sahan H. et al., EPJ Web of Conferences Vol.100 No. 01007 (2015).
10. Mansour H.M.M., Acta Physica Polonica B 21, No. 9 (1990).
11. Tel E. et al., 2nd International Conference on Theoretical and Experimental Studies in Nuclear Applications- TESNAT2016, page 51-53, Hatay, Turkey (2016).
12. Tel E. et al., Commun. Theor. Phys. (Beijing, China) Vol. 49, No. 3 (2008).
13. Baldik R et al., Physics of Atomic Nuclei, 73(1), 74-80(2010).
14. [phys.lsu.edu/graceland/faculty/cjohnson/skhafo.f (Last visited on March 11, 2017).
15. Skyrme, T.H.R., Nuclear Physics 9,615-634 (1959).
16. Chabanat E. et al., Nucl. Phys. A 627: 710-746 (1997).
17. Chabanat E. et al., Nucl. Phys. A 635 (1998).
18. Bormann M., Zeitschrift fuer Naturforschung A 17, 479 (1962).

19. Hlavac S. et al., IAEA Nucl.Data Section report to the I.N.D.C. 412, (1999)
20. EXFOR/CSISRS Database, <https://www-nds.iaea.org/exfor/exfor.htm>, (Last visited on March 11, 2017).

Authors addresses

¹Eyyup TEL, Prof. Dr., Osmaniye Korkut Ata University, Physics Department, Osmaniye, Turkey, +90(328)8251818 / 3049, eyuptel@osmaniye.edu.tr

²Abdullah AYDIN, Prof. Dr. Kırıkkale University, Physics Department, Kırıkkale, Turkey, +90 (318) 357 4242/ 4086, a.aydin63@gmail.com

³Ismail Hakkı SARPUN, Assoc. Prof, Afyon Kocatepe University, Physics Department, Afyonkarahisar, Turkey, + 90 (272) 444 0303 /139, sarpun@aku.edu.tr

⁴Hasan ALKANLI Osmaniye Korkut Ata University, Physics Department, Osmaniye, Turkey +90 5367296919, halkanli@hotmail.com

Contact Person

¹Eyyup TEL, Prof. Dr., Osmaniye Korkut Ata University, Physics Department, Osmaniye, Turkey, +90(328)8251818 / 3049, eyuptel@osmaniye.edu.tr

Consideration on the Management of Cross-border Projects

Anamaria Dascalescu¹, Miorita Ungureanu²

^{1,2} Technical University of Cluj Napoca, North University Center of Baia Mare

¹ anamariadascalescu@gmail.com

² mioritaungureanu@gmail.com

Abstract: The paper approaches issues connected with the preparation and development of the Romanian' cross-border area projects. The similarity and differences in partners' countries (Hungary, Slovakia, Romania, Ukraine) are analysed in the context of projects' implementation by Technical University of Cluj Napoca-North University Center of Baia Mare. The conclusions of these types of analyses have main importance for future Application development and project implemented in the next 2014-2020 budgetary execution.

Keywords: cross-border, partners' countries, project management

1 INTRODUCTION

According to the Programme Guide, the Hungary-Slovakia-Romania-Ukraine ENPI Cross-border Cooperation Programme main goal is to promote activities with the help of the European Union, which would lead to an intensification and deepening of the social and economic cooperation between the Ukrainian regions and the regions of the Member States with which it has common borders, almost 600 km.

Inside Projects, the creation and development of cross-border cooperation amongst regional public authorities, regional public agencies and universities - as research centres -improves the flow of information and the communication between regions, and at the same time creates the basis for approaching common issues while using researchers from both regions [1].

Generally, a successful implementation requires that the Project to be finish on time, within budget and with achievement of the expected quality of obtained results.

Using modern project management techniques and procedures, we can obtain a better control of financial, material, human, time resources and an efficient internal control.

The cross-border Project involving two or more partners countries requires a complex Beneficiary coordination of the partners inside common activities and the own activities.

Each partner country comes in the project with own project implementation experience, own country procurement legislation and constraints, own type of justification documents.

All those differences represent a challenge for Project management team.

2 AREAS OF EXPERTISE IN PROJECT MANAGEMENT

For a successful Project, during international project implementation the management team must cover all areas of expertise in the context of different

fluctuation of currency courses / country, exceptional political factors, diverse financial climate, multilanguage and multicultural factors, Fig. 1.

The changes occurring in international project implementation involve quick measures in activities developing.

That requires the elaboration of a complex control system which determines all deviation from established standards.

The control system must take in to consideration the political and economic possible changes in the partners' countries. The lack of reaction to variations occurring in the implementation process can create later special problems to the Project.

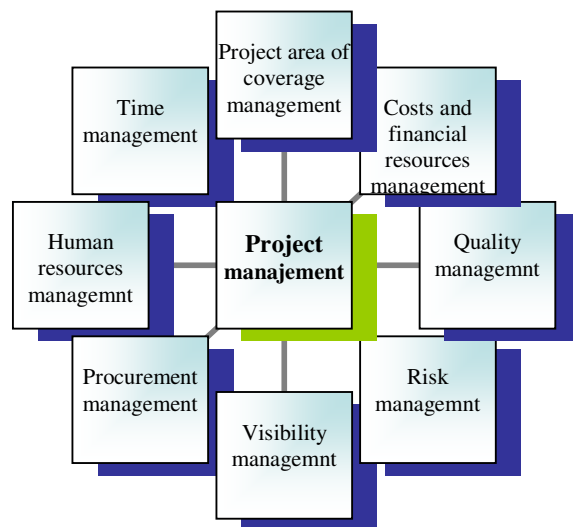


Fig. 1. Areas of expertise in project management

A rigorous communication system is followed, linking the Project Manager Coordinator to the all Partner's Countries Managers and also to the Director of the Project representing JTS (Join Technical Secretariat) of the Programme.

The communication strategy between decision factors allows quick and highly efficient solution to the encountered problems.

It is maximal importance that to not exist language barrier in this management communication.

Also, this two-way communication line, Fig.2, in the control system increase the responsibility of the Partners' managers in obtaining the Project results at the established quality, in time and with previsioned costs. To effective influence the partners' managers behavior, the Project activities and quality of the results must be defined clear, accepted and understood [2].

Continuous measurement, evaluation and analyze of the results performance allow the continuous correction of the errors.

Reporting and controlling are the base in taking decision: it is necessary a continuous dataflow to be analyzed and make decision.

To much information or to less determine a base inadequate for control and reduce the reporting value.

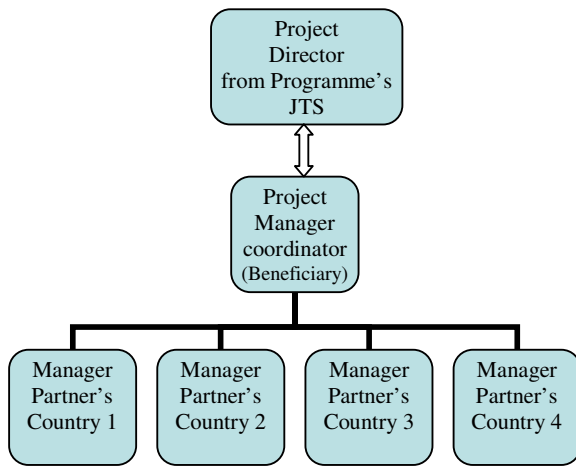


Fig. 2. Communication system applied in international project.

3 HUMAN RESOURCE

The implementation team selection has a main contribution to achieve the specific objectives of the Project. For each Partner's Country team are selected the experts covering all activities with necessary expertise in order to obtain the required performance in Project activities results.

Also, the selected team members must have the ability to work together in common activities, eventually previously proven in other projects and to accept the authority of the manager.

It is necessary for each team member to have the real implication and determination in order that the Project to succeed. The last decision about implementation team is important to be the manager's.

The Partner's Manager must be certain that his implementation team is the best to cover all activities in the benefit of the quality of Project's results.

The Managers of international Project must understood the culture of the involved countries.

The management of a cross-border Project requires application of knowledge about Partner's organization, theirs experience in project management, and in the best situation, directly previous collaboration.

The capability of the international Project manager to adapt to the cultural diversity, a certain flexibility, a good capability of situation evaluation and good decision capability in various situations are necessary.

The international management is more complex than the national management and the internal principles of management can not be transferable in situation of cultural diversity, organization, economical and individual differences.

A good international Project manager must think internationally and have special capabilities, Fig.3.

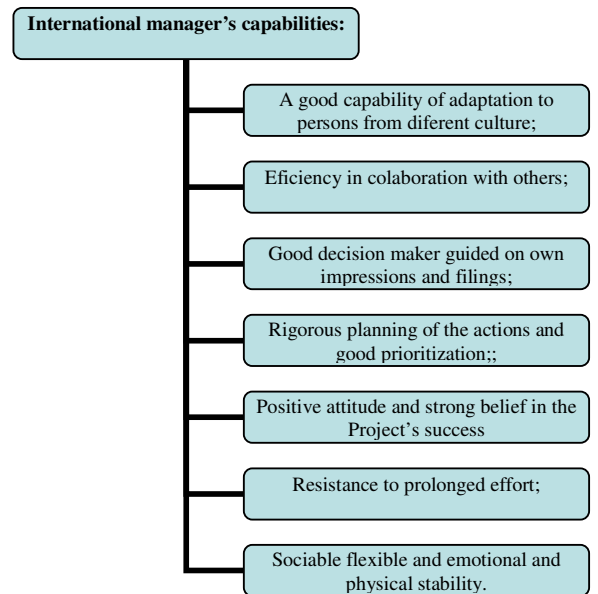


Fig. 3. International manager's capabilities.

4 CONCLUSION

The international cross-border Project has notable difference of management toward national Project.

A main importance has the Project human resource capability of adapting to the several challenges due to cultural, economic, political, linguistic differences between different country Partners.

The international manager must have several extra capabilities to succeed the implementation of the Project.

REFERENCES

- [1] HUSKROUA 1001/110, Dascalescu, Anamaria., coord., (2015). HANDBOOK Management of the contaminated sites with oil products p. 7-19 ISBN 978-973-53-1535-1
- [2] *** Manager de proiect (2010), EUROCOR, ISBN 973-7929-15-2, Modul 16.

Authors addresses

¹*Dascalescu, Anamaria Technical University of Cluj Napoca-North University Center of Baia Mare, e-mail anamariadascalescu@gmail.com*

²*Ungureanu, Miorita, Technical University of Cluj Napoca, e-mail mioritaungureanu@gmail.com*

Decarburization of steels with high carbon content before boronizing treatment and its effect on the microstructure: Borodecarburizing

Arzum ULUKÖY^{1,*}

Abstract: *The boriding process has been used as a heat treatment method in machine manufacturing since at the end of the 19th century. Boronized parts have high corrosion and wear resistance. The boride layer is generally composed of both FeB and Fe₂B phases from the surface through the matrix material. The diffusion of boron atoms into the matrix is blocked by high carbon concentration. Therefore, formation of a FeB phase increases proportionally with increasing boron concentration. Decreasing the carbon content in the surface layer decreases FeB formation in the boride layer, allowing, boron atoms to easily diffuse from the surface through the matrix material. This approach, called borodecarburizing, and improves the surface contact fatigue strength of machine parts.*

Keywords: *Decarburizing, Boronizing, Borodecarburizing, Mechanical Properties.*

1 INTRODUCTION

Boriding is a process in which a boride layer is formed by diffusion of boron atoms onto a material surface by way of thermochemical reactions or non-thermochemical methods [1-3]. The process can be applied to a wide range of ferrous or nonferrous metals such as titanium, cobalt, molybdenum, nickel and their alloys, as well as cermets [1,2].

Solid, paste, gaseous, or plasma media can be used in thermochemical diffusion processes [1,2,4]. Alternatively, physical vapor deposition (PVD), chemical vapor deposition (CVD), ion implantation, or plasma spraying can be used as non-thermochemical methods [1,2]. In addition, various other techniques have been developed, such as multicomponent boriding [2,5-10], plasma sintering [2,11], super plastic boriding [12,13], eutectic boriding [14], fluidized bed techniques [10,15], and ultra-fast boriding [16].

As a result of boronizing, a very thin layer of boride compounds is formed on the steel surface, and the compounds vary depending on the chemical composition of the steel (Fig. 1).

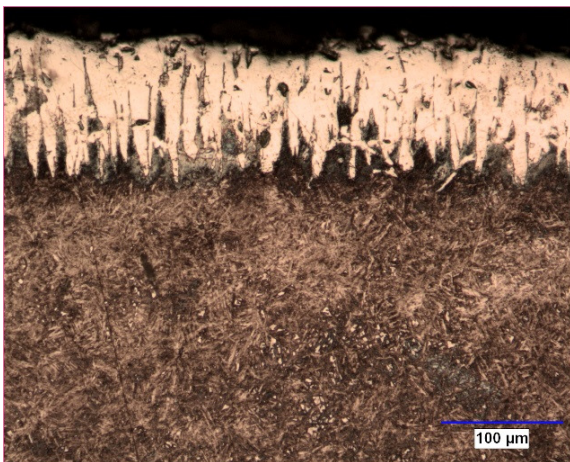


Fig. 1. A micrograph of boronized AISI 4140 steel

The boride layer is generally composed of both FeB and Fe₂B phases from the surface through the

matrix material during boronizing of steels. The FeB phase has a greater thermal coefficient of expansion, hardness, and brittleness than the Fe₂B phase. The most important disadvantages of the very hard (1600-2000 HV) boron layer are the probability of crack formation caused by the large hardness gradient between the matrix and the layer and the incompatibility between the FeB/Fe₂B phases [7,8,17-20]. Laser heat treatment (LHT) process can reduce brittleness without decreasing the hardness of boride layer [17,18,21,22]. To prevent undesirable crack formations, reduce brittleness, and improve the mechanical properties of the boride layer, it is necessary to obtain a one-phase Fe₂B layer or multicomponent boride layer [1,2,17-20].

Multicomponent boriding has been carried out before, during, or after the boronizing process by adding one or more specific alloying elements simultaneously or one after the other. Elements such as V, C, Al, Cr, Ni, Si, Ti, N, S, or Nb are used to perform borocarburing, borovanadizing, boroaluminizing, borochromvanadizing, and so on [5-10,18,19,23-34]. The B-C, B-Cr, B-V, B-Si, B-Al, B-Nb, or B-Cr-V phases are occurred in the boride layer together with the Fe-B phases (FeB and Fe₂B). The multicomponent boride layer has a higher hardness value and a larger transition zone than that produced by boronizing alone [2,7-9,17-19,22-24]. Using this method, the hardness difference between the matrix and the boride layer is tempered with a softer transition. In addition, the multicomponent boride layers adhere to the matrix in a good way [10]. The multicomponent boride layer's corrosion fatigue strength, oxidation resistance, wear resistance, and hardness are quite good [2,9,18,27-29,33,34].

2 BOROCARBURIZING

Carburizing is applied to especially low carbon steel parts to enhance the surface properties (fatigue, wear, etc.) without reducing toughness, obtaining a carbon ratio of approximately 9% and hardness of about 60 HRC at the surface. It can be applied to a wide range of steels that have a 0.25% carbon ratio [35]. In particular, when the process has been applied to machine

parts, such as gears, it lead to higher contact and bending fatigue resistance and greater wear resistance [35,36].

Borocarburing has been applied to prevent the carburized parts from decarburizing [5]. The process is a boronizing process applied generally after carburizing. The microstructure of borocarbured AISI 8620 steel can be seen in Fig. 2. A high hardness carbon-rich zone existing under the boride layer is formed by carbon atoms forced to move to the inner region by boron. The substrate is under this region. Therefore, a relatively hard transition zone (carburized region, 900 HV) is formed between the very hard boride zone (1600-2000 HV) and the soft substrate [5,7,8,17-19,23,24,33]. Gas carburizing is generally preferred because it is easy to apply and provides the carbon content required (37,38). Boronizing can be accomplished using gaseous, liquid, or solid boronizing media [1,2,7,8,17-19,39-49].

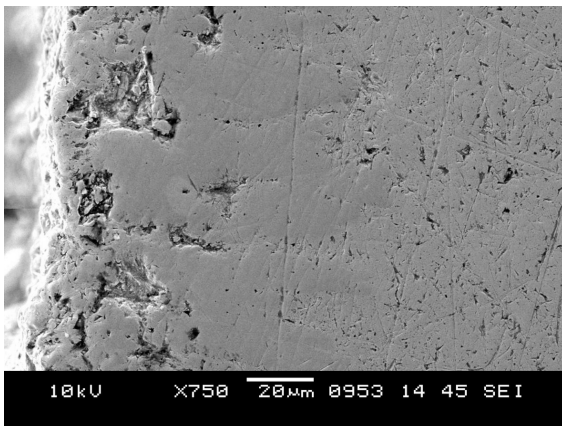


Fig. 2. A SEM cross section of borocarbured AISI 8620 steel

During boronizing, the directivity of elements in the base material occurs in one of two ways: toward the boride layer or toward the matrix (Fig. 3). The atomic numbers of Cr and Mn are lower than that of Fe, so these atoms are diffused toward the material surface. Mapping analysis of Cr in carburized (a), boronized (b), and borocarbured (c) layers of AISI 8620 steel can be seen in Fig. 4. Ni and C are diffused in the opposite direction [2,40]. However, in the majority of borocarburing studies, a FeB phase on the surface of the matrix was identified [7,8,17-19,33]. This may be expected because of the high carbon content under the boride layer, which makes diffusion of boron atoms into the matrix difficult. Fig. 5 shows that element linescans analysis (B and C) of AISI 8620 steel after carburizing (a), boronizing (b), and borocarburing (c). Since carbon is insoluble in boride layer, it accumulates between the layer and the matrix [50]. Thus the boron concentration at the surface increases. Formation of the FeB phase increases proportionally with increasing boron concentration [1,2]. Consequently, a single-phase boride layer can be obtained on the carburized surface by reducing the carbon content [24].

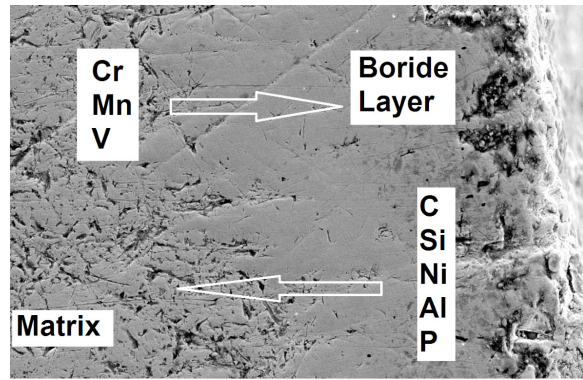


Fig. 3. The directivity of elements during boronizing

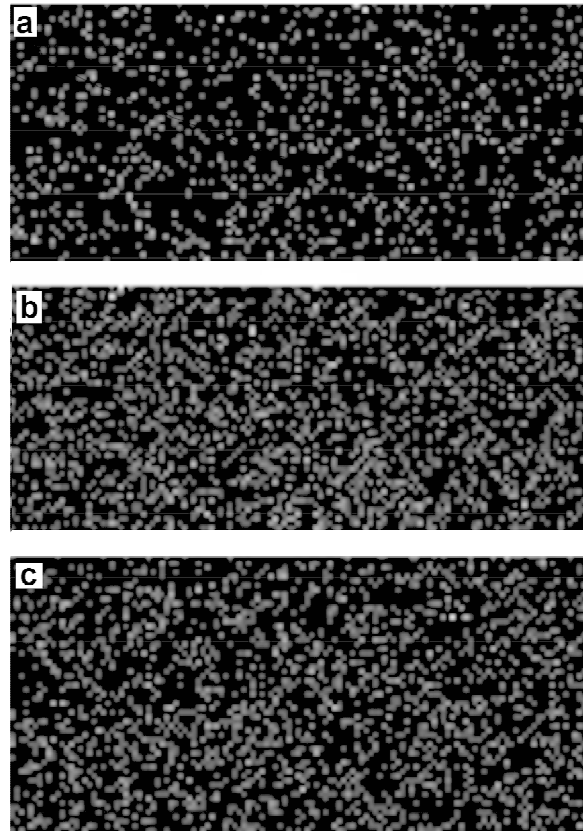


Fig. 4. Mapping analysis of Cr in carburized (a), boronized (b), and borocarbured (c) layers of AISI 8620 steel via using SEM

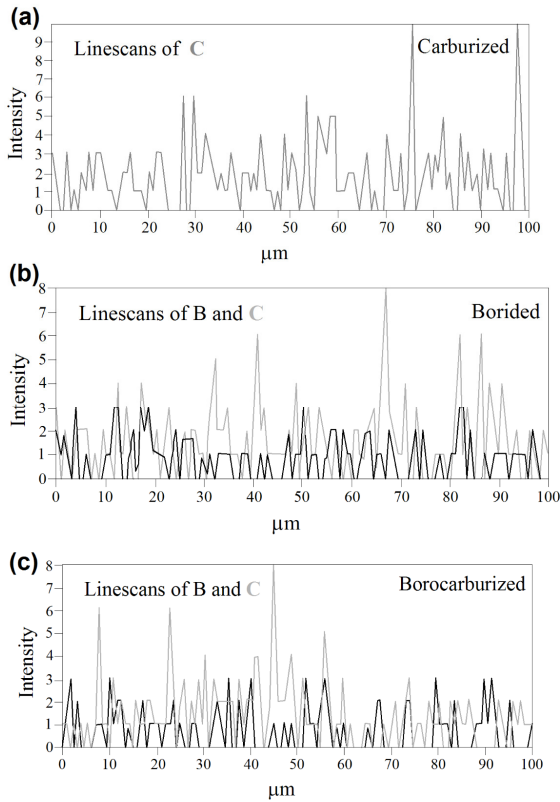


Fig. 5. B and C linescans analysis of AISI 8620 steel after carburizing (a), boronizing (b), and borocarburizing (c)

3 BORODECARBURIZING

Decarburization is a reduction in the carbon content of the steel surface. This is generally undesirable and can occur when reheating or hardening carburized parts. Properties obtained by carburizing and hardening cannot be achieved if the carburized surface becomes decarburized. Either total or partial decarburization can occur. In total decarburization, the microstructure is ferrite because of the decreasing carbon concentration at the surface. In partial decarburization, the lesser carbon loss leaves a martensitic microstructure. Carbon loss amount can be from slight to severe [35,51].

There are few studies on boronizing of decarburized steels. Karakullukcu [52,53] decarburized AISI H13 steel in a furnace at 900 °C for 4 hours and then used a solid boronizing media for 3 or 5 hours. The thickness and hardness of the boride layer was found to increase with increasing pretreatment decarburization time: an increase of 12% in surface hardness and 77-85% in thickness of boride layer. The obtained results can be seen at Table 1.

Carburizing followed by decarburizing and then boriding is called borodecarburizing [24]. The process aims to facilitate the diffusion of boron atoms into the carburized material to obtain a one-phase boride layer. This approach is relatively new in the literature.

Table 1. Layer thickness and hardness values after boronizing alone and after boronizing followed by decarburizing [52]

Process time (h)	Borided		Decarburized ¹ +Borided	
	3	5	3	5
Boride layer thickness (μm)	22,9	27,8	42,3	49,3
The hardness of boride layer, (kg/mm ²)	1850	2020	1750	2255

¹ Decarburized for 4 h at 900 °C

3.1 Material and Method

Ulukoy et al. [23,24] found a one-phase iron boride layer (Fe₂B at the surface of 21NiCrMo2 (AISI 8620) steel) after boronizing, borocarburizing, and borodecarburizing. They reported that the boride layers exhibited saw-tooth profiles and excluded FeB boride. The greatest hardness was 2290 HV, obtained by borodecarburizing. Comparative hardness values are given in Table 2 [23,24].

Table 2. Maximum microhardness values of carburized, borided, borocarburized and borodecarburized layers [23,24]

C	B	B	BDC
744 HV	1620 HV	2054 HV	2290 HV

C: Carburized; B: Boronized; BC: Borocarburized; BDC: Borodecarburized

In this study, carburization was performed in a controlled gaseous atmosphere at 930°C and at carbon potential C_p (wt %) =1 for 45 minutes. Decarburization of previously carburized gears was performed in a salt bath consisting of 60% NaCl and 40% NaCO₃ at 950 °C for 1, 2, and 3 h. Boronizing was carried out in a salt bath consisting of borax and SiC by Yuksel et al. [54]. All specimens were hardened to obtain the same substrate microstructure in a salt bath and then were cooled in oil. Microstructure and boron and carbon distribution analyses was done via using scanning electron microscopy.

3.2 Experimental Results

The borodecarburized specimens' microstructures can be seen in Fig. 6. The greatest hardness, 2290 HV_{0,025}, was obtained by borodecarburizing. The microhardness of borodecarburized specimens was higher than either the borided and borocarburized specimens. Boron concentration was increased via borodecarburizing without FeB phase formation (Fig. 7) and it indicates that carbon-rich zones form below the boride layers when boron atoms shove carbon atoms into the substrate compared with Fig. 5. This situation caused growth of the transition region from the substrate surface to the matrix, to be between 1 and 1.5 mm in

borocarbured and borodecarbured samples and to be 100 μm in borided sample. The results demonstrate that the surface contact fatigue strength of borided machine parts can be improved by the borodecarburing process.

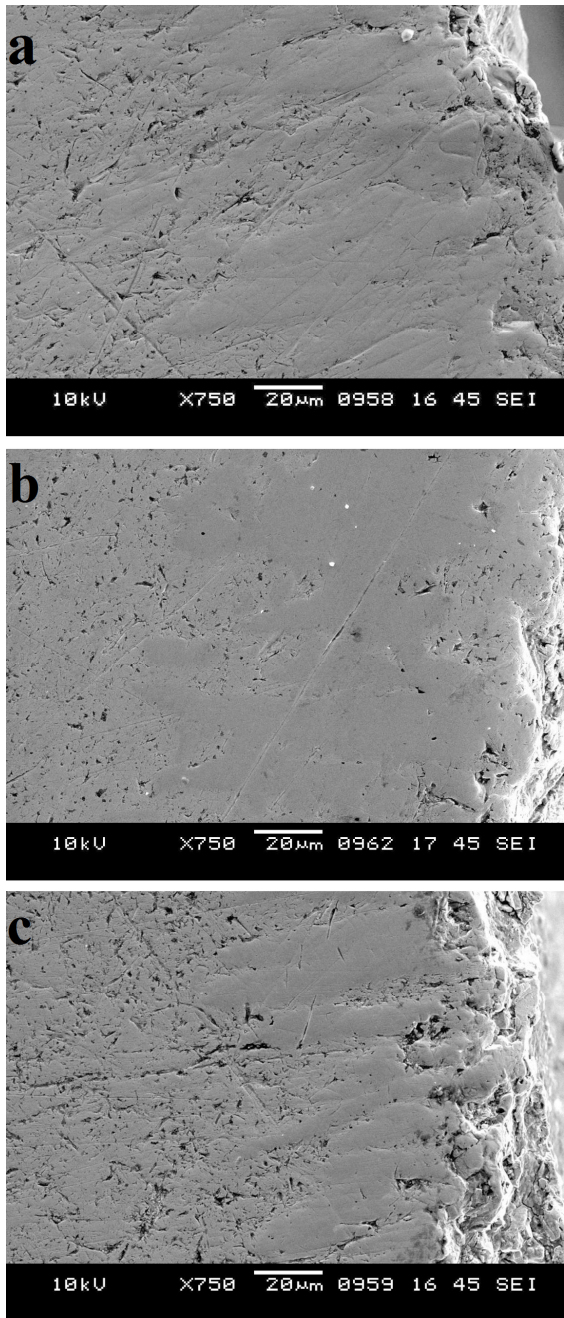


Fig. 6. A SEM cross section of (a) carburized, 1 h decarburized, borided and hardened, (b) carburized, 2 h decarburized, borided and hardened, (c) carburized, 3 h decarburized, borided and hardened AISI 8620 steel

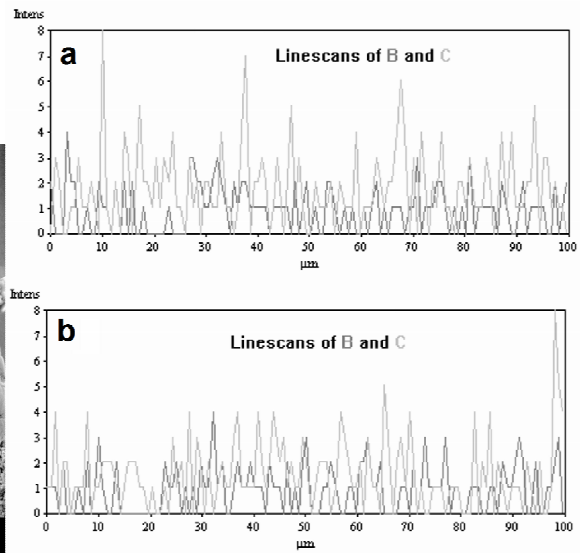


Fig. 7. B and C linescans analysis of AISI 8620 steel after borodecarburing: (a) carburized, 1 h decarburized and borided, (b) carburized, 3 h decarburized and borided

4 CONCLUSION

The borocarburing process is a multicomponent boriding method that consists of carburizing followed by boriding. Hardness and wear resistance increase with borocarburing, this was used, for the first time, to prevent the carburized parts from decarburizing. There is likely to have FeB/ Fe₂B phases on the borocarbured layer. It is necessary to obtain a one-phase Fe₂B layer or multicomponent boride layer for preventing undesirable crack formations. Recent studies show that decarburizing carburized parts before boronizing, called borodecarburing, will enlarge the transition zone and increase hardness. Boronizing is not suitable for some machine elements because it produces poor surface contact fatigue strength. The surface contact fatigue strength of borided machine elements such as gears can be improved by using the borodecarburing process.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is supported by Pamukkale University Scientific Research Project Coordinatorship (PAU BAP) with 2017KKP055 project number.

REFERENCES

- [1] Von Matuschka, A.G. Boronizing; Heyden & Son Inc: Philadelphia, 1980; 11-65.
- [2] Sinha, A. K. Boriding (Boronizing). In ASM Metals Handbook Vol 04 - Heat Treating; ASM Int: Ohio, 1991; 437-447.
- [3] Biddulph, R.H. Boronizing for erosion resistance. Thin Solid Films 1977, 45 (2), 341-347.
- [4] Arun, S.; Sivakumar, T.; Viswanathan, P.; Subramanian, R. Study of Hardness and Wear Properties of Boronized AISI 4340 Steel.

- International Journal of Engineering Research and Applications 2013, 3 (4), 1927-1929.
- [5] Aves, Jr., W.L., Aves, G.A. Borocarburing ferrous substrates. US Patent 4,495,006, 1985.
- [6] Aves, Jr., W.L. Pack composition for carburosiliconizing ferrous substrates. US Patent 4,539,053, 1985.
- [7] Pertek, A.; Kulka, M. Characterization of complex (B + C) diffusion layers formed on chromium and nickel-based lowcarbon steel. *Appl Surf Sci.* 2002, 202 (3-4), 252-260.
- [8] Kulka, M.; Pertek, A. Characterization of complex (B + C + N) diffusion layers formed on chromium and nickel-based low-carbon steel. *Appl. Surf. Sci.* 2003, 218 (1-4), 113-122.
- [9] Sen, S. The characterization of vanadium boride coatings on AISI 8620 steel. *Surf. and Coatings Techn.* 2004, 190 (1), 1-6.
- [10] Balandin, Y.A. Boronitriding of die steels in fluidized bed. *Metal Science and Heat Treatment* 2001, 46 (9-10), 385-387.
- [11] Yu, L.G.; Khor, K.A.; Sundararajan, G. Boriding of mild steel using the spark plasma sintering (SPS) technique. *Surf. Coat. Tech.* 2002, 157 (2-3), 226-230.
- [12] Xu, C.H.; Xi, J.K.; Gao., W. Improving the mechanical properties of boronized layers by superplastic boronizing. *J. Mater. Process. Tech.* 1997, 65 (1-3), 94-98.
- [13] Jauhari, I.; Yusof, H.A.M.; Saidan, R. Superplastic boronizing of duplex stainless steel under dual compression method. *Materials Science and Engineering A* 2011, 528 (28), 8106– 8110.
- [14] Ge, C.L.; Ye, R.C. Research on self-propagating eutectic boriding. *J. Mater. Process. Tech.* 2002, 124 (1-2), 14-18.
- [15] Anthymidis, K.G.; Stergioudis, E.; Tsiapas, D.N. Boriding in a fluidized bed reactor. *Materials Letters* 2001, 51 (2), 156–160.
- [16] Timur, S.; Kartal, G.; Eryilmaz, O.L.; Erdemir, A. Ultra-fast boriding of metal surfaces for improved properties. US Patent 20100018611 A1, 2010.
- [17] Kulka, M.; Pertek, A. Microstructure and properties of borided 41Cr4 steel after laser surface modification with re-melting. *Applied Surface Science* 2003, 214 (1-4), 278–288.
- [18] Kulka, M.; Pertek, A. Microstructure and properties of borocarbured 15CrNi6 steel after laser surface modification. *Applied Surface Science* 2004, 236 (1-4), 98–105.
- [19] Pertek, A.; Kulka, M. Two-step treatment carburizing followed by boriding on medium-carbon steel. *Surface And Coatings Technology* 2003, 173, 309–314.
- [20] Yu, L.G.; Chen, X.J.; Khor, K.A.; Sundararajan, G. FeB/Fe2B phase transformation during SPS pack-boriding: boride layer growth kinetics. *Acta Materialia* 2005, 53 (8), 2361–2368.
- [21] Gopalakrishnan, P.; Shankar, P.; Subba Rao, R.V.; Sundar, M.; Ramakrishnan, S.S. Laser surface modification of low carbon borided steels. *Scripta Mater.* 2001, 44 (5), 707-712.
- [22] Kulka, M.; Dziarski, P.; Makuch, N.; Piasecki, A.; Miklaszewski, A. Microstructure and properties of laser-borided Inconel 600-alloy. *Applied Surface Science* 2013, 284, 757– 771.
- [23] Ulukoy, A. Boriding process application to gears made of 21NiCrMo2 (AISI 8620) together with carburizing. Pamukkale University, Graduate School of Science, M. Sci. Thesis, 2005.
- [24] Ulukoy, A.; Can, A.C.; Ozmen, Y.; Tasgetiren, S. Borocarburing of decarburized gears made from 21NiCrMo2 (AISI 8620) steel. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials Design and Applications* 2013, 1464420713509560.
- [25] Zemskov, G.V.; Kaidash, N.G. Boro-aluminizing of steel. *Metal Science and Heat Treatment* 1965, 7 (4), 256-258.
- [26] Maragoudakis, N.E.; Stergioudis, G.; Omar, H.; Paulidou, E.; Tsiapas, D.N. Boro-nitriding of steel US 37–1. *Materials Letter* 2002, 57, 949–952.
- [27] Wang, D.; Li, Y.; Xiu-li, Z. A novel steel RE-borosulphurizing and mechanical properties of the produced RE-borosulfide layer. *Applied Surface Science* 2013, 276, 236– 241.
- [28] Suwattananont, N.; Petrova, R. Formation of multi-component boronization by adding transition metal group VIB. *Solid State Sciences* 2012, 14 (11-12), 1669-1672
- [29] Sen, U.; Pazarlioglu, S.S.; Sen, S. Niobium boride coating on AISI M2 steel by boro-niobizing treatment. *Materials Letters* 2008, 62 (16), 2444–2446.
- [30] Sen, S.; Sen, U. The effect of boronizing and boro-chromizing on tribological performance of AISI 52100 bearing steels. *Industrial Lubrication and Tribology* 2009, 61 (3), 146 – 153
- [31] Chen, F.-S.; Wang, K.-L. The kinetics and mechanism of multi-component diffusion on AISI 1045 steel. *Surface and Coatings Technology* 1999, 115 (2-3), 239–248.
- [32] Taktak, S. Characterization of pack borided AISI 4140 steel after nickel electroplating. *Kovove Mater.* 2007, 45 (4), 215–222.
- [33] Kulka, M.; Pertek, A. Gradient formation of boride layers by borocarburing. *Applied Surface Science* 2008, 254 (16), 5281-5290.
- [34] Sikorski, K.; Wierzchoń, T.; Bieliński, P. X-ray microanalysis and properties of multicomponent plasma-borided layers on steels. *Journal of Materials Science* 1998, 33 (3), 811-815.
- [35] Parrish, G. *Carburizing: Microstructures and Properties*; ASM International: Materials Park OH, 1999; 135-168.
- [36] Schijve, J. *Fatigue of Structures and Materials*; Springer Science & Business Media: B.V., 2009; 424-425.
- [37] (37) Stickels, C.A. Gas Carburizing. In *ASM Metals Handbook Vol 04 - Heat Treating*; ASM Int: Ohio, 1991; 312–324.

- [38] Foreman, R.W. Pack Carburizing. In ASM Metals Handbook Vol 04 - Heat Treating; ASM Int: Ohio, 1991; 325–328.
- [39] Atik, E.; Yunker, U.; Meric, C. The effects of conventional heat treatment and boronizing on abrasive wear and corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 steels. *Tribology International* 2003, 36 (3), 155–161.
- [40] Bindal, C. Az alaşimli ve karbon eliklerinde borlama ile yzeye kaplanan borrlerin bazı zelliklerinin tesbiti, Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Doctoral Thesis, 1991.
- [41] Matiasovsky, K.; Chrenkova-Paucirova, M.; Fellner, P.; Makyta, M. Electrochemical and thermochemical boriding in molten salts. *Surface and Coatings Technology* 1988, 35, 133–149.
- [42] Melendez, E.; Campos, I.; Rocha, E.; Barron, M. A. Structural and strenght characterization of steels subjected to boriding thermochemical process. *Materials Science and Engineering* 1997, A234-236, 900–903.
- [43] Meri, C.; şahin, S.; Yılmaz, S.S. Investigation of the effect on boride layer of powder particle size used in boronizing with solid boron-yielding substances. *Materials Research Bulletin* 2000, 35, 2165-2172.
- [44] zbek, İ. Borlama yntemiyle (AISI M50, AISI M2) yksek hiz eliklerinin ve AISI W1 eliğinin yzey performanslarının geliştirilmesi, Sakarya University, Graduate School of Science, Doctoral Thesis, 2000.
- [45] zbek, İ.; Konduk, B. A.; Bindal, C.; işık, A. H. Characterization of borided AISI 316L steel implant. *Vacuum* 2002, 65, 521–525.
- [46] zbek, İ.; şen, S.; İpek, M.; Bindal, C.; Zeytin, S.; işık, A.H. A mechanical aspect of borides formed on the AISI 440C stainless-steel. *Vacuum* 2004, 73, 643–648.
- [47] zmen, Y., Can, A.. Borlamanın eliklerde aşınma dayanımına etkisi. 5. Ulusal Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODT, Ankara, TURKEY, 1992.
- [48] zmen, Y. The effect of surface hardening with boriding on wear resistance in X210Cr12, Dokuz Eyll University, Graduate School of Science, M. Sci.Thesis, 1990.
- [49] şen, U.; şen, ř. The fracture toughness of borides formed on boronized cold work steels, *Materials Characterization* 2003, 50, 261–267.
- [50] Badini C.; Gianoglio, C.; Pradelli, G. The effect of carbon, chromium and nickel on the hardness of borided layers. *Surf. & Coat. Tech.* 1987, 30(2), 157–170.
- [51] Jacquet, P.; Rouse, D.R.; Bernard, G.; Lambertin, M. A Novel Technique to Monitor Carburizing Processes, *Materials Chemistry and Physics* 2002, 77, 542–551.
- [52] Karakulluku, F. Dekarbrize işleminin AISI H13 eliğinin borlanma davranışına etkisi, Sakarya University, Graduate School of Science, M. Sci.Thesis, 2002.
- [53] Karakulluku, F.; Genel, K.; İpek, M. Dekarbrizasyonun AISI H13 eliğinin borlanma davranışına etkisi, *Sakarya University Journal of Science* 2002, 6 (3), 59-62.
- [54] Yksel, M.; Can, A..; zmen, Y. X210Cr12 (1.2080) takım eliğinin tuz banyosunda borlanması, *Tr. J. of Engineering and Environmental Sciences* 1995, 19, 97–101.

Authors addresses

¹Arzum Uluky, Assist. Prof. Dr., Pamukkale University, Faculty of Technology, Manufacturing Engineering Department, Kinikli, Denizli, +90 2582964137, aulukoy@pau.edu.tr

Contact person

*Arzum Uluky, Assist. Prof. Dr., Pamukkale University, Faculty of Technology, Manufacturing Engineering Department, Kinikli, Denizli, +90 2582964137, aulukoy@pau.edu.tr

HVOF yöntemiyle Cr₃C₂-%25NiCr ve WC-%12Co Kaplanan Fren Disklerinin Aşınma Direnci ve Fren Performansı

Mehmet ÇAKMAKKAYA^a Tuğçe YALÇIN^b Serdar SERİN^b

Özet: Yüksek Hızlı Oksijen Yakıtı (HVOF), lamel grafitli dökme demirlerin, iyi niteliklere sahip ve aşınmaya karşı dirençli bir Cr₃C₂-%25NiCr Krom Karbürü-Nikel Krom ve WC-%12Co tungsten karbürü ile yüzey kaplanması için kullanılan mükemmel yaklaşımlardan biridir. Bu araştırmada, lamel grafitli dökme demirinden imal edilen fren disklerinin balata ile temas eden yüzeylerinin kaplanması için -45 +5 µm Cr₃C₂-%25NiCr ve WC-%12Co sinterlenmiş tozlar kullanılmıştır. Bu tozlarla kaplanan disklerin aşınma ve frenleme özellikleri açısından performansları araştırılmıştır. HVOF püskürtme yöntemi kullanılarak uygulanan Cr₃C₂-%25NiCr ve WC-%12Co kaplamasının mikro yapısı, elektron mikroskopisi ile taranarak her aşamada karakterize edilmiştir. Frenleme performansı ve kaplanmış yüzeyin aşınma testi, SAE J2430, TS 555 ve TS 9076 brake-on-disk test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Kayma mesafesinde farklı yükler uygulanarak, aşınma kütle kaybı değerleri incelenmiştir. Deneysel sonuçlar, kaplanmış numunenin aşınma miktarının kaplanmamış numuneye kıyasla azaldığını göstermektedir. Bu çalışma sonucunda, sinterlenmiş Cr₃C₂-%25NiCr ve WC-%12Co tozu kullanılarak ve etan yakıtlı bir yüksek hızlı oksijen yakıt püskürtme işlemi ile gerçekleştirilmiş kaplamaların mikro yapıları, mekanik özellikleri ve çizilme aşınması davranışları üzerindeki etkileri ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, HVOF, Kaplama

Wear Resistance and Brake Performance of Brake Discs Coated with Cr₃C₂-25%NiCr and WC-12%Co using the HVOF method

Abstract: High Velocity Oxygen Fuel (HVOF) is one of the excellent approaches used to coat lamellar graphite cast irons with wear-resistant Cr₃C₂-25%NiCr Chromium Carbide-Nickel Chrome and WC-12%Co tungsten carbide with good qualities. In this research, -45 +5 µm Cr₃C₂-25%NiCr and WC-12%Co sintered powder is used to coat the surfaces of the brake discs, which are made of lamellar graphite cast iron, that contact with the pads. Performance of the discs, which are covered with these powders, in terms of wear and braking characteristics are studied. The microstructure of the Cr₃C₂-25%NiCr and WC-12%Co coating, which is applied by using the HVOF spraying method, is characterized at each step by scanning with electron microscopy. Braking performance and coated surface wear testing is performed with SAE J2430, TS 555 and TS 9076 brake-on-disk tester. Wear mass loss values are examined by applying different loads at the sliding distance. Test results show that the amount of wear of the coated sample is reduced in comparison to the uncoated sample. As a result of this study, the effects on the microstructure, mechanical properties and abrasive wear behavior of coatings deposited by using the Cr₃C₂-25%NiCr and WC-12%Co powder and an ethane-fuelled, high-velocity oxygen-fuel spray process are revealed.

Keywords: Abrasion, HVOF, Coated, Wear lost

1. GİRİŞ

Kaplama teknolojisinde kullanılan uygulama ortamları uygulanan kaplamanın özelliklerine göre uygun hale getirilebilir. Aşınma, korozyon ve sürtünmeye karşı yeterli direnci sağlamak için, demir içeren ve içermeyen metaller, intermetalik bileşikler, alaşımlar, seramikler ve sermet gibi çeşitli malzemeler kaplanabilir. WC-Co stokiyometrik oranlarda veya kullanılan tozların % atomik ağırlıklarına göre belirli oranlarda tozları, HVOF ısı püskürtme işlemi kullanılarak kaplanması istenilen malzemelerin yüzey özelliklerini geliştirmek üzere birçok uygulamada kullanılmıştır [1]. Demir bazlı malzemelerin korozyon ve aşınma direncini artırmak için bunların yüzeylerine sert krom film kaplama uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Fakat kaplama işleminde kullanılan bu altı

değerlikli krom bileşiklerin operatörlere ve çevre sağlığına verdiği zararlar oldukça büyüktür. Bu nedenle araştırmacılar alternatif krom kaplama yöntemleri üzerinde çalışma yapmaktadırlar. Alternatif adaylardan birisi olan HVOF, sermet kaplamaların sprey yöntemi ile yüzeylere uygulama yöntemidir. HVOF, Oksijen ve yakıt karışım gazların (propan, propilen ve hidrojen) yüksek basınçlarda süpersonik hızlara ulaşması ve kaplama tozunun alev beslenmesi ile oluşur. HVOF, termal enerji girişini minimize ederken, kinetik enerjiyi en yüksek derecelere ulaştırır. Böylece yüksek bağ mukavemetli, yoğun, porozitesi az kaplamalar elde edilir [2]. İleri seramik malzemeler giderek artan alanda örneğin, uçak, otomotiv, enerji ve kimya endüstrileri gibi pek çok sanayi dalında kullanılmaktadır. Yüksek hızlı oksijen-yakıtlı ısı püskürtme işlemi ile yumuşak çelik üzerine uygulanan

WC-12Co kaplamasının yapısına ilişkin olarak, kaplamaların geleneksel kaplamaya kıyasla daha iyi aşınma direnci sergilediği rapor edilmiştir [3]. HVOF yöntemi kullanılarak çelik ana malzemeler üzerinde nano-yapılı WC-18Co ısıl püskürtmeyle gerçekleştirilen bu kaplamaların kaplama mikro yapısı, mekanik özellikleri, fiziksel özellikleri ve kalıntı ile porozite gibi kaplama kusurlarıyla ilişkileri araştırılmıştır [4]. Bununla birlikte, yaygın olarak kullanılan NiCrSiB eritenliği içinde barındıran alaşımın HVOF ile püskürtülmüş kaplamalarının mikro yapısı ve suya karşı korozyon özellikleri, BS EN 10083-1 C40E karbon çeliğine uygulanan püskürtme çalışmalarında araştırılmıştır [5]. Kaplama malzemesinin yüzeye bağlanabilme kuvvetine daha yüksek akım şiddeti, daha uzun püskürtme mesafesi ve daha düşük basınç parametrelerinin etkisi olduğu açıklanmıştır. Farklı aşındırıcılar kullanılmak suretiyle A36/1020 çelikte kum püskürtme uygulanarak yüzey pürüzlülüğü gerçekleştirilmiştir. Bu püskürtme parametreleri altında kum püskürtme ile daha fazla yüzey pürüzlülüğü ve bağlanma elde edilmiştir [6]. AISI 1020 çelik ana maddeler üzerine uygulanan WC-Co termal püskürtmeli kaplamalar, sıklıkla yüksek sertlik ve çizilme aşınması dirençleri için kullanılmaktadır [7]. WC-Co sistemi kullanılarak gerçekleştirilen kaplamalar genellikle yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahiptir [8-9]. HVOF işlemi ile yumuşak çelik ana madde üzerinde uygulanan demir (Fe) bazlı alaşım kaplama, ana madde malzemeleri üzerinde daha iyi mekanik özellikler üretmek üzere kullanılmaktadır [10]. AISI 4340 çelik üzerine püskürtmeli WC-17Co ve WC-10Co-4Cr kaplaması uygulanmış ve kaplanmış çeliğin aksenal yorulma dayanımında, esas metale kıyasla azalma rapor edilmiştir [11]. Kaplama yüzey özelliklerinin mikro yapısı, açılma mesafesine ve oksijen akış hızlarına bağlıdır [12]. Aşınma testleri, pim-on-disk aşınma test cihazında gerçekleştirilmiş ve pim, genellikle hafif kamyon fren balatalarında kullanılan sürtünme malzemesinden üretilmiştir [13]. Alüminyum alaşım ve alüminyum matris kompozitlerin tribolojik ve mekanik özelliklerini arttırmak üzere termal püskürtme uygulanmış ve alüminyum alaşım üzerine kaplanmış CrCr75-NiCr25 için sürtünme katsayısını (COF) değerlerinin yağlı/kuru koşullarda 0,09/0,26 olduğu gözlemlenmiştir [1]. NiCr kaplama da aynı zamanda ince, üniform ve katmanlı bir mikro yapı ve aynı zamanda kayma aşınması sergilemekte olup, kayma sırasında oluşan karbürlerin ve metal oksit döküntünün dağılmasından ortaya çıkan serbest karbondan kaynaklanan yağlama, sürtünme katsayılarında azalma ile sonuçlanmıştır [14]. Gevrek çatlama sergilemeye yatkın olması nedeniyle, plazma ile püskürtülen seramik Cr203 kaplaması, yalnızca kayma aşınması koşulları için önerilebilir. Mikro kaynaklar daha büyük kaplama parçalarının kopmasına neden olmuştur; bu, özellikle Cr3C2-NiCr kaplamada gözlemlenmiştir [15]. Püskürtülmüş kaplama primer karbürlerden, krom oksitten ve amorf ve nano kristal yapılı bağlayıcı fazların karışımından oluşmaktadır [16].

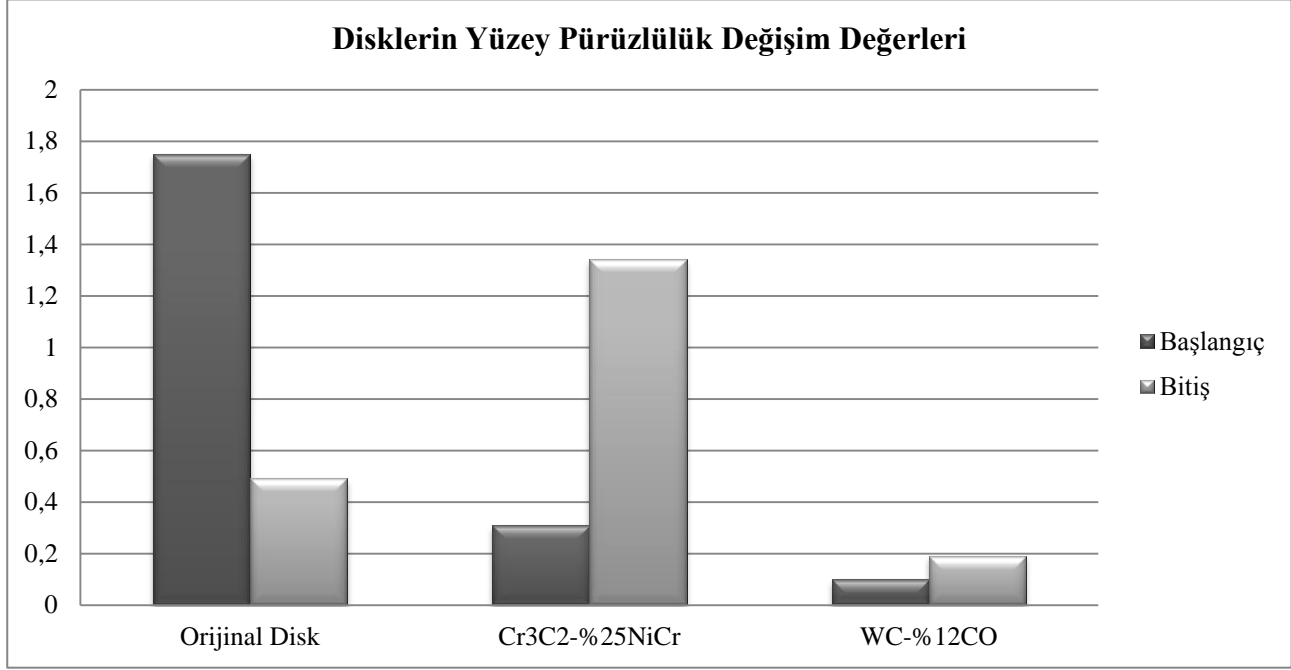
Hem kaplanmamış hem de kaplanmış ana maddelerin mikro yapısı ve mikro aşınma direnci performansı, optik mikroskopi ile karakterize edilmiştir. Kaplama, bilye krateri test yöntemine tabi tutulduğunda mükemmel aşınma direnci sergilemiştir [17]. Cr3C2-NiCr sermet, aşınmaya ve korozyona dirençli uygulamalarda yoğun olarak kullanılmaktadır. WC-Co sistemi ile gerçekleştirilen kaplamalar genellikle daha yüksek bir sertliğe ve aşınma direncine sahip olup, aynı zamanda kaplanmış yüzey üzerinde primer karbürler, krom oksit ve amorf karışımı tespit edilmiştir [18, 9]. Gri dökme demir üzerine uygulanan çalışmada kaplamalı ve kaplamasız yüzeyler arasındaki sürtünmeye ilişkin faktörlerin daha iyi bir şekilde doğrulanabilmesi amacıyla yapılan çalışmada HVOF kaplama yöntemini kullanılarak gri dökme demir üzerine % oranları değiştirilerek uygulanan Cr3C2-NiCr kaplamasının aşınma özellikleri açısından kaplama performansını araştırdılar araştırılmıştır [10]. Bu çalışmanın hedefi, kaplamasız ve kaplamalı numuneler arasındaki sürtünmeye ilişkin faktörlerin daha iyi bir şekilde doğrulanabilmesi amacıyla, karşılaştırmalı bir çalışma yapmak ve HVOF kaplama yöntemi kullanılarak gri dökme demirden imal edilen fren disklerine uygulanan Cr3C2-%25NiCr ve WC-%12Co kaplamasının aşınma özellikleri ve frenleme performansı açısından kaplama performansını değerlendirmektir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA SONUÇLAR VE TARTIŞMA

SAE J2430 test standartlarına göre yapılan çalışmada kaplamalı ve kaplamasız diskler için üç tekrarlı test sonuçları alınarak ortalama değerler hesaplanmıştır. Test edilecek balata ve disklerin deney öncesinde ve bitiminde bunların yüzey pürüzlülükleri, mikrometre yardımı ile boyutsal kalınlık farkları ve hassas terazilerde kütle kayıpları ölçülmüştür. Kaplama yapılmış disklerin deney öncesi ölçülen pürüzlülük değeri arasında fazla fark görülmemektedir. Çünkü burada kaplama için kullanılan tozunun tane boyutu ve kaplama sonrasında yüzeye uygulanan temizleme yöntemleri etkili olmuştur. Deney sonrasında elde edilen pürüzlülük değerlerindeki farklılık ise tozların kimyasal özelliklerinin farklı ve yüzeyde oluşturulan kaplamanın XRD sonuçlarından da görüldüğü gibi içerisinde aşınmaya karşı farklı sert fazların bulunmamasından kaynaklanmaktadır. Sermet kaplamalar aşınma direncinin çözümünde geniş bir aralıkta uygun çözümler sunar. Bu tür kaplanmış malzemeler çalıştığı bölgedeki çevresel ve fiziksel etkilerden korunarak daha performanslı hale getirilir. WC-%12Co ve Cr3C2-%25NiCr kaplı kaplamalar genellikle yaygın olarak gaz türbinleri, buhar türbini ve aero-engineer için geliştirilmiş kaplamalardır. Bu tür kaplamalar kayma direnci, aşınma ve korozyon direnci için geliştirilmiştir [20]. Kaplanmış disklerin deney sonrası pürüzlülük değerleri artarak frenleme sırasında balata ile daha iyi tutunma sağlamıştır. Kaplama yapılmamış diskte ise yüzey pürüzlülüğünde azalma

olduğu ve buna paralel olarak fren tutunması daha uzun mesafede olduğu ölçülmüştür. Bu değerler Şekil 2. a, b ve c'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda fren

disklerinde meydana gelen yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Disklerde meydana gelen pürüzlülük değişimleri

Tablo1. Frenleme performansı ölçümlerinde fren disklerinde oluşan kalınlık değişimleri.

Frenleme Performansında Ölçülen Disklerin Kalınlık Değişim Değerleri							
Disk	Deney Tekrar Sayısı	1	2	3	4	Kalınlık Değişimi (mm)	Ortalama Kalınlık (mm)
Orijinal Disk	Başlangıç Kalınlık Değer	24,6	24,6	24,6	24,6		0,22
	I. Deney	24,37	24,36	24,37	24,36	0,24	
	II. Deney	24,15	24,14	24,15	24,15	0,21	
	III. Deney	23,95	23,96	23,95	23,95	0,2	
Cr ₃ C ₂ -%25NiCr Kaplanmış Disk	Başlangıç Kalınlık Değer	24,11	24,12	24,12	24,12		0,03
	I. Deney	24,08	24,09	24,09	24,08	0,04	
	II. Deney	24,04	24,05	24,05	24,04	0,04	
	III. Deney	24,03	24,04	24,04	24,03	0,01	
WC-%12CO Kaplanmış Disk	Başlangıç Kalınlık Değer	24,22	24,21	24,22	24,22		0,01
	I. Deney	24,2	24,19	24,2	24,19	0,015	
	II. Deney	24,19	24,18	24,19	24,18	0,005	
	III. Deney	24,18	24,17	24,18	24,17	0,005	

Tablo2.. Frenleme performansı ölçümlerinde fren disklerine takılan balatada oluşan kalınlık değişimleri.

Frenleme Performansında Ölçülen Balata Kalınlığı Değişim Değerleri				
Balata	Deney Tekrar Sayısı	Kalınlık (mm)	Kalınlık Farkı (mm)	Ortalama Kalınlık (mm)
Orijinal Disk	I. Takılan balata kalınlığı	10,54	5,12	4,21
	I. Balata kalınlık değişimi	5,42		
	II. Takılan balata kalınlığı	10,6	4,32	
	II. Balata kalınlık değişimi	6,28		
	III. Takılan balata kalınlığı	10,455	3,175	
	III. Balata kalınlık değişimi	7,28		
Cr ₃ C ₂ -%25NiCr Kaplanmış Disk	I. Takılan balata kalınlığı	10,83	4,33	3,83
	I. Balata kalınlık değişimi	6,5		
	II. Takılan balata kalınlığı	11,43	4,73	
	II. Balata kalınlık değişimi	6,7		
	III. Takılan balata kalınlığı	10,59	2,43	
	III. Balata kalınlık değişimi	8,16		
WC-%12CO Kaplanmış Disk	I. Takılan balata kalınlığı	10,36	2,87	2,59
	I. Balata kalınlık değişimi	7,49		
	II. Takılan balata kalınlığı	10,31	2,05	
	II. Balata kalınlık değişimi	8,26		
	III. Takılan balata kalınlığı	11,4	2,85	
	III. Balata kalınlık değişimi	8,55		

Frenleme performans kriterlerine göre kaplamalı ve kaplamasız diskler için yapılan testlerden alınan verilerden frenleme final etkinlikleri Şekil 2. a,b ve c'de verilmiştir. Şekil 2 (a) orijinal diskin final etkinliği bölümünde, ilk 5 frenlemede 50 km/h hızdan 3 km/h hıza kademeli olarak yapılan frenlemelerde artan hız ile sıcaklık yükselmiş ve sürtünme katsayısı düşmüştür. İkinci olarak yapılan 5 frenlemede 100 km/h hızdan 3 km/h hıza kademeli olarak yapılan frenlemelerde artan basınç ve hızın etkisiyle sıcaklık yükselmiş sürtünme katsayısı bir önceki değerde sabit seyretmiştir.

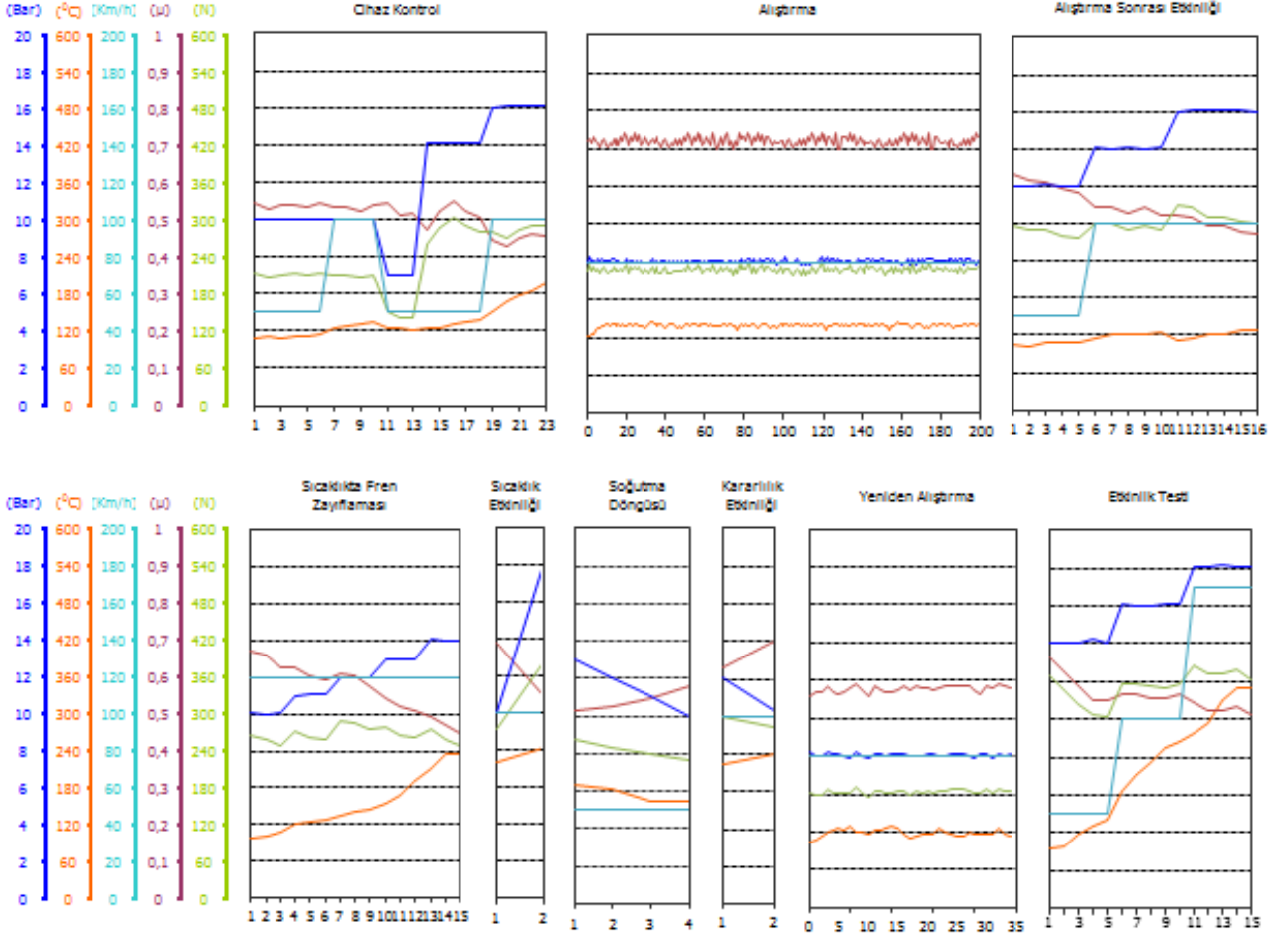
Son olarak yapılan 5 frenlemede 160 km/h hızdan 3 km/h hıza kademeli olarak yapılan

frenlemelerde artan basınç ve maksimum hız sınırında sıcaklık yükselmiş, sürtünme katsayısı düşmüştür. Final etkinliği bölümünde bu faktörlere bağlı olarak sürtünme katsayısı 0,67 değerinden 0,51 seviyelerine kadar gerilemiştir.

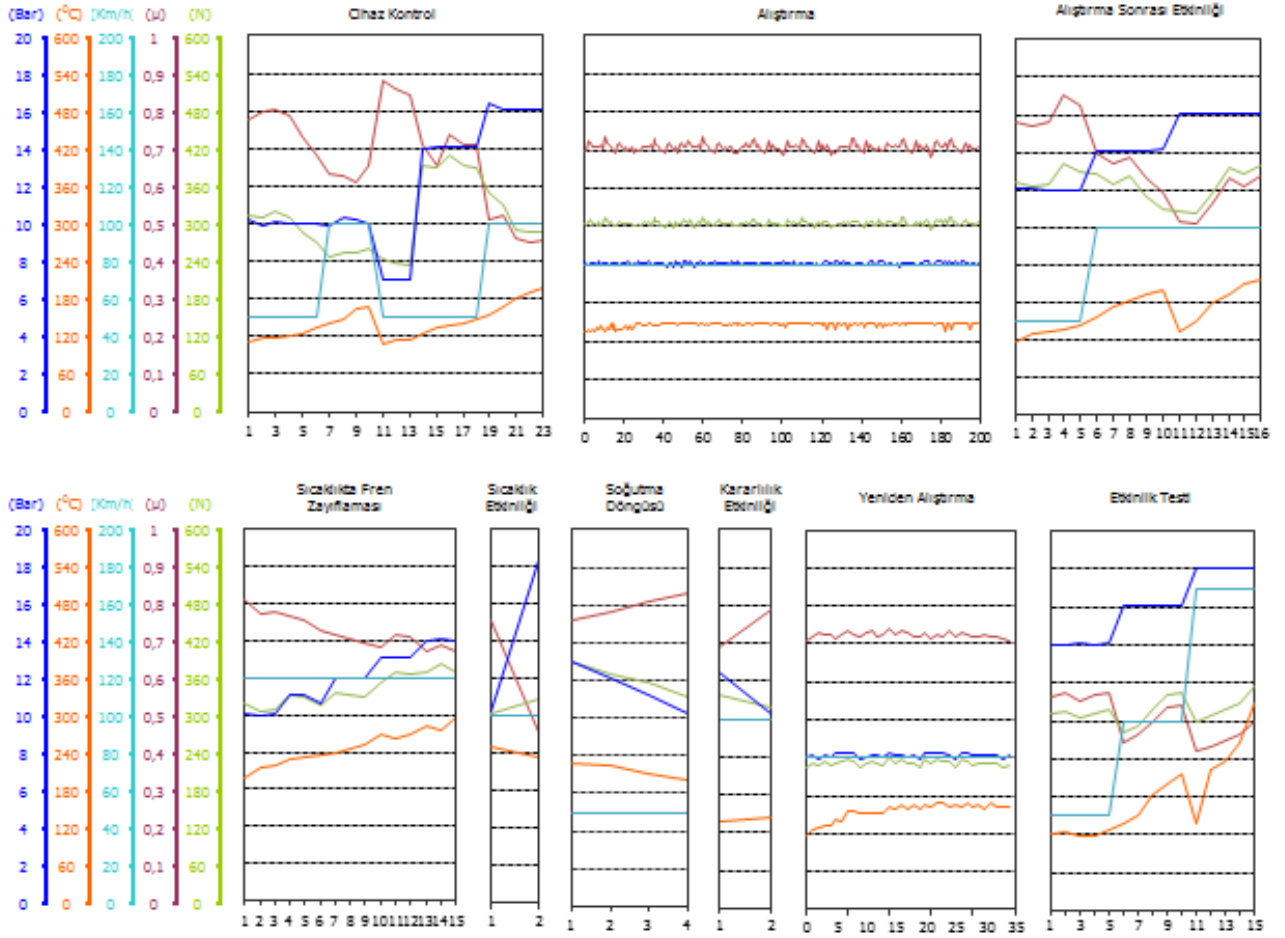
Şekil 2 (b) Cr₃C₂-%25NiCr kaplanmış fren diskin final etkinliği toplam 15 frenleme döngüsünden oluşmaktadır. Burada 50 km/h hızda ve 14 bar basınçta yapılan 5 frenleme sürecinde sürtünme katsayısı 0,56 seviyesinde, 16 bar basınçta 100 km/h hızda yapılan 5 frenlemede sürtünme katsayısı 0,44 - 0,54 değerleri arasında gözlemlenmiştir. 18 bar basınç, 160 km/h hızda yapılan 5 frenleme sürecinde ise sürtünme katsayısı 0,42 seviyesinden 0,50 seviyesine kadar

çıkılmıştır. Toplam etkinlik süresi sonucunda disk ve balatanın ara yüzey sıcaklığı 117 °C'den 327 °C olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 2 (c) WC-%12Co kaplanmış fren diski final etkinliği toplam 15 frenleme döngüsünden oluşmaktadır. Burada 50 km/h hızda ve 14 bar basınçta yapılan 5 frenleme sonucunda sürtünme katsayısı 0,60'dan 0,48'e değerine düştüğü gözlemlenmiştir. 16 bar basınçta 100 km/h hızda yapılan 5 frenleme tekrarında sürtünme katsayısı 0,45 değerinde stabil kalmıştır. 18 bar basınç ve 160 km/h hızda yapılan 5 frenleme tekrarında ise biraz azalarak

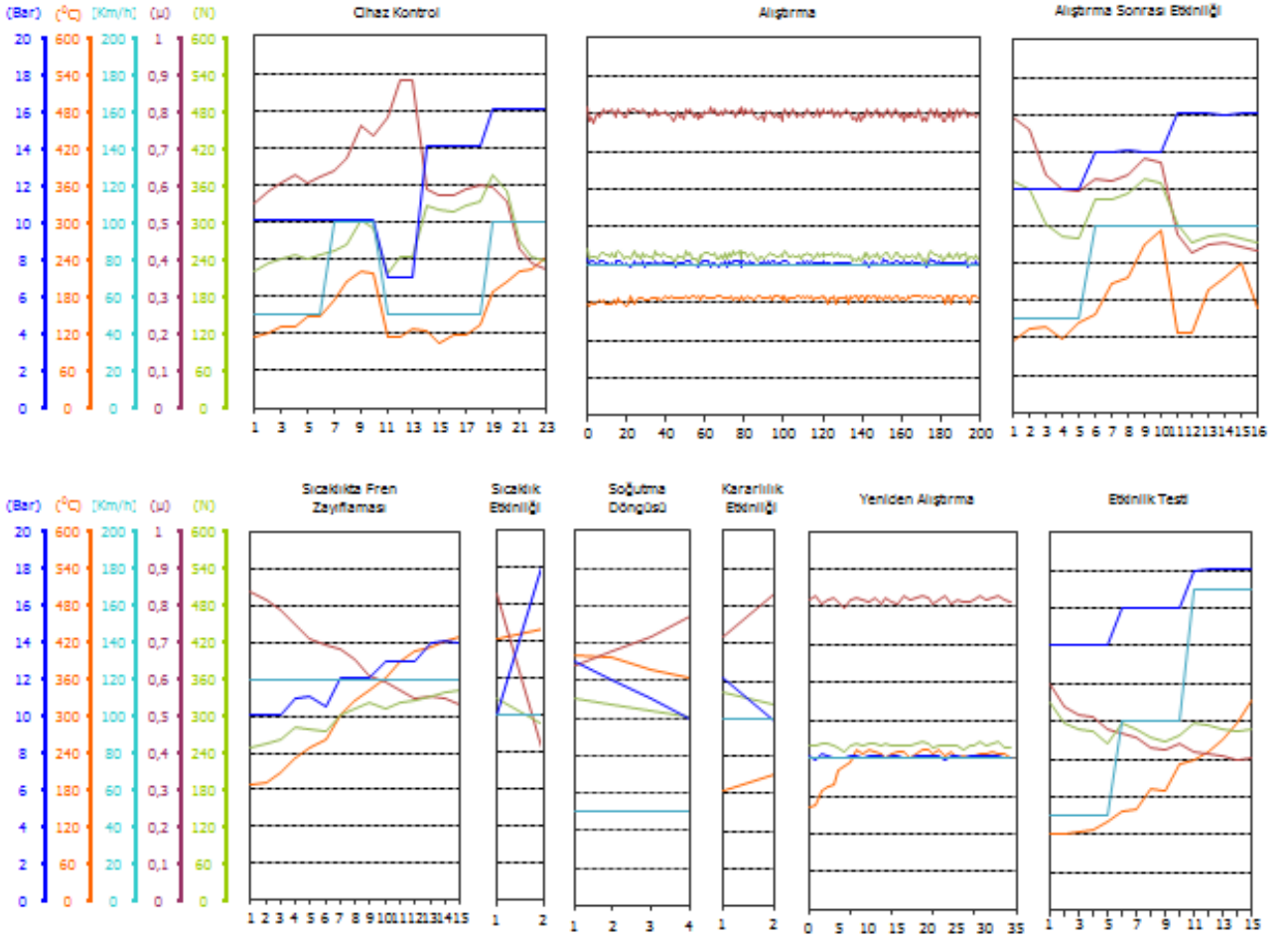
0,41 değerinde olduğu gözlemlendi. Toplam etkinlik süresi sonucunda disk ve balatanın ara yüzey sıcaklığı 121 °C'den 334 °C'ye kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. M. Shunmuga Priyan ve arkadaşları HVOF kaplama yöntemini kullanarak yaptıkları çalışmada % bileşenleri farklı olan Cr₃C₂NiCr toz karışımlarını kullanmışlar. Yaptıkları çalışmada kaplama yüzey sertliğinin yaklaşık olarak 3,5 kat arttığını ve yüksek karbür içeriğine sahip olan kaplamaların sürtünme katsayısında azalma olduğunu belirtmişlerdir[1].



Şekil. 2 (a) Orijinal fren diskinden elde edilen frenleme etkinliği performans testi grafiği



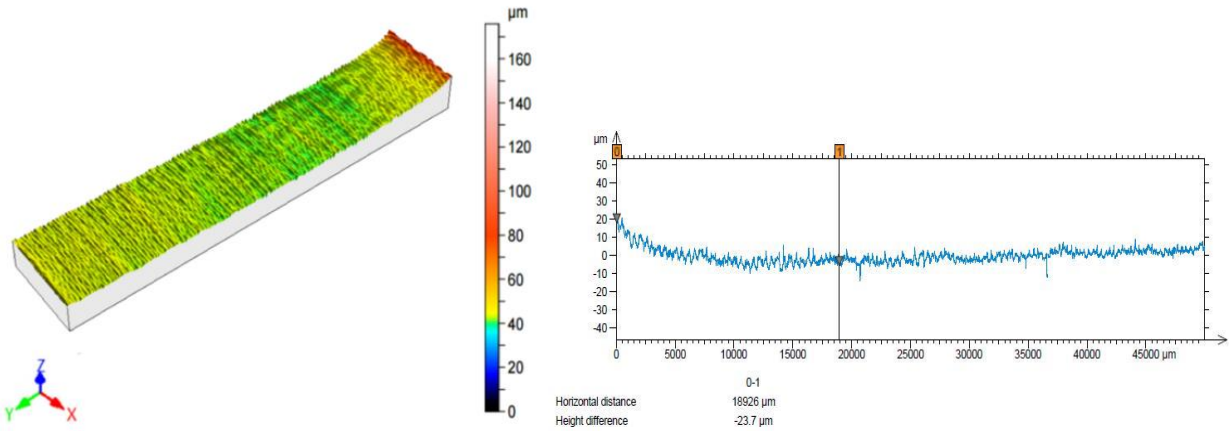
(b) Cr_3C_2 -%25NiCr kaplanmış fren diskinden elde edilen frenleme etkinliği performans testi grafiği



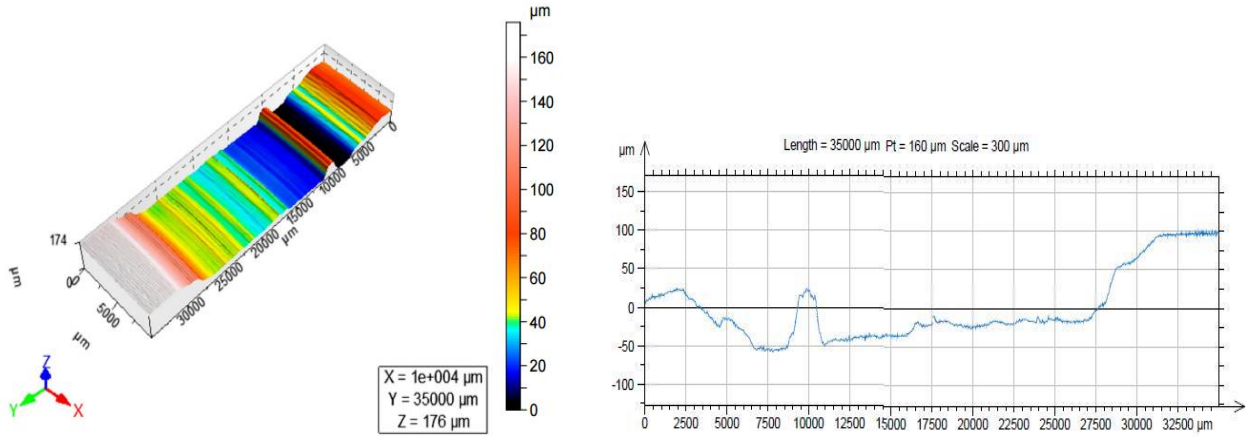
(c) WC-%12Co kaplanmış fren diskinden elde edilen frenleme etkinliği performans testi grafiği

Deneylerde kullanılan disklerin topografya görüntüleri Şekil 3, 4 ve 5’de verilmiştir. Burada disklerin kaplama yüzeyinde oluşan Cr, Ni, O, C, Si Wc gibi çok sayıda elementler balatanın aşındırıcı etkisi ile farklı oranlarda aşınma etkisi gösterdiğinden

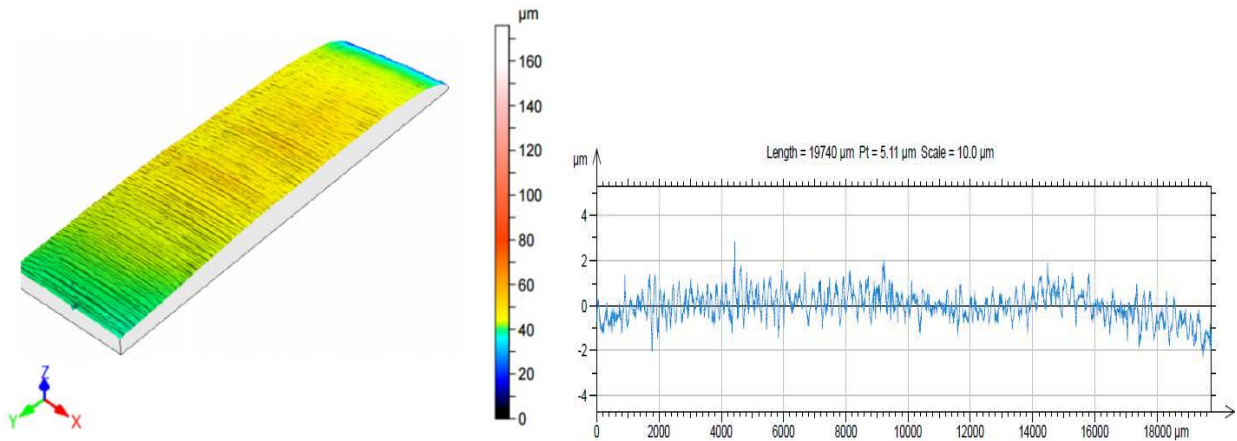
yüzey pürüzlülük değerleri de farklı oranlarda olduğu görülmektedir. Özellikle Şekil 4’de görülen topografya görüntüsünde Cr3C2-%25NiCr kaplama tozu kullanılan numunelerde çok sayıda farklı özelliklere sahip olan elementlerin varlığı yüzeyde farklı derinlikte aşınma çukurlarını oluşturmuştur.



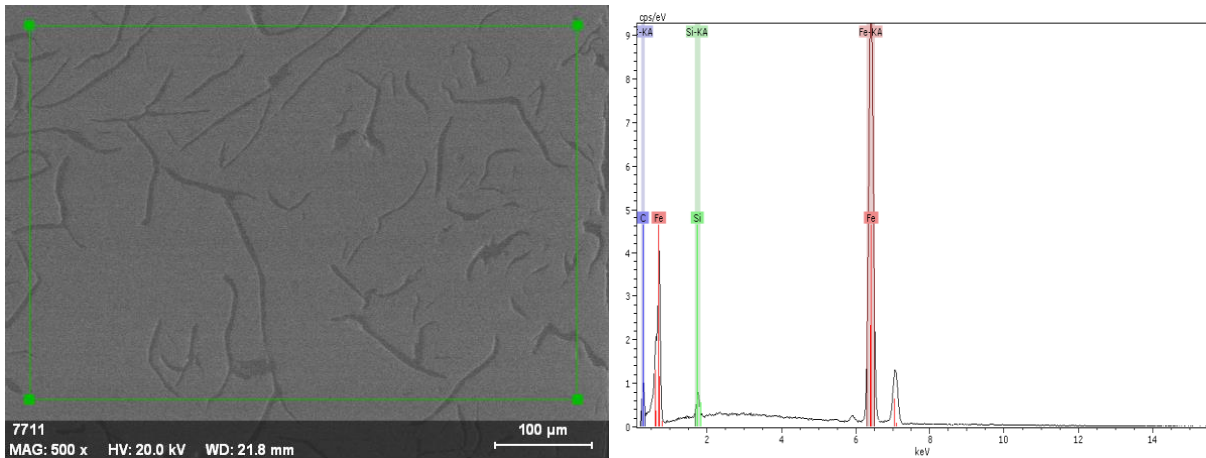
Şekil. 3 Orijinal disk topografya görüntüsü



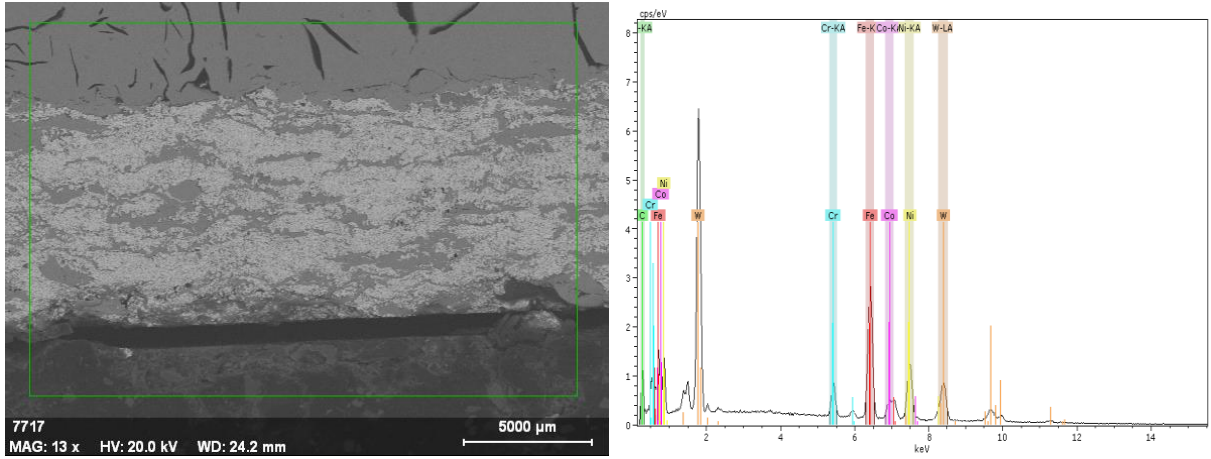
Şekil. 4 Cr_3C_2 -%25NiCr kaplanmış diskin topografya görüntüsü



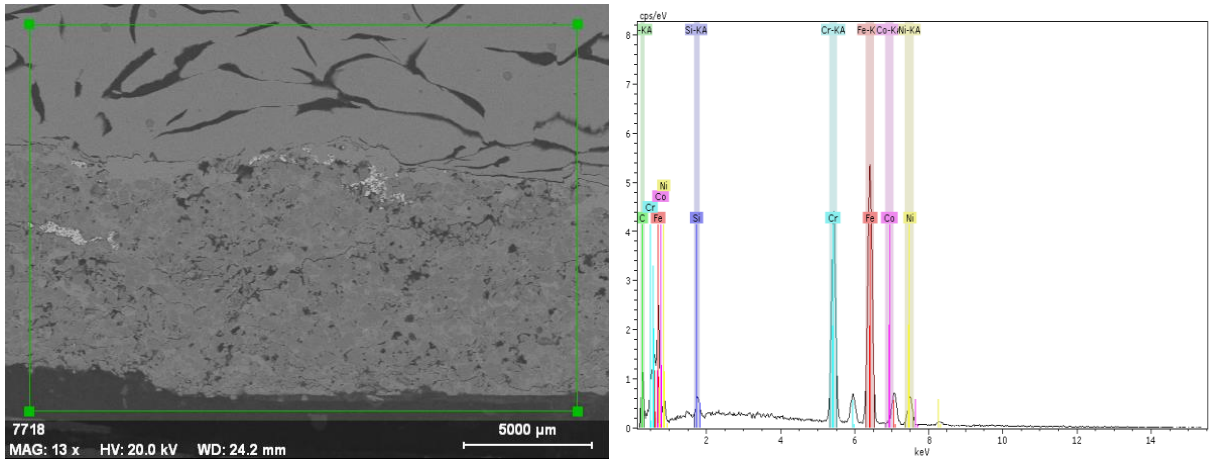
Şekil. 5 WC-%12Co kaplanmış diskin topografya görüntüsü



Şekil. 6 Orijinal fren diskinin SEM görüntüsü



Şekil. 7 WC-%12Co kaplanmış diskin SEM görüntüsü

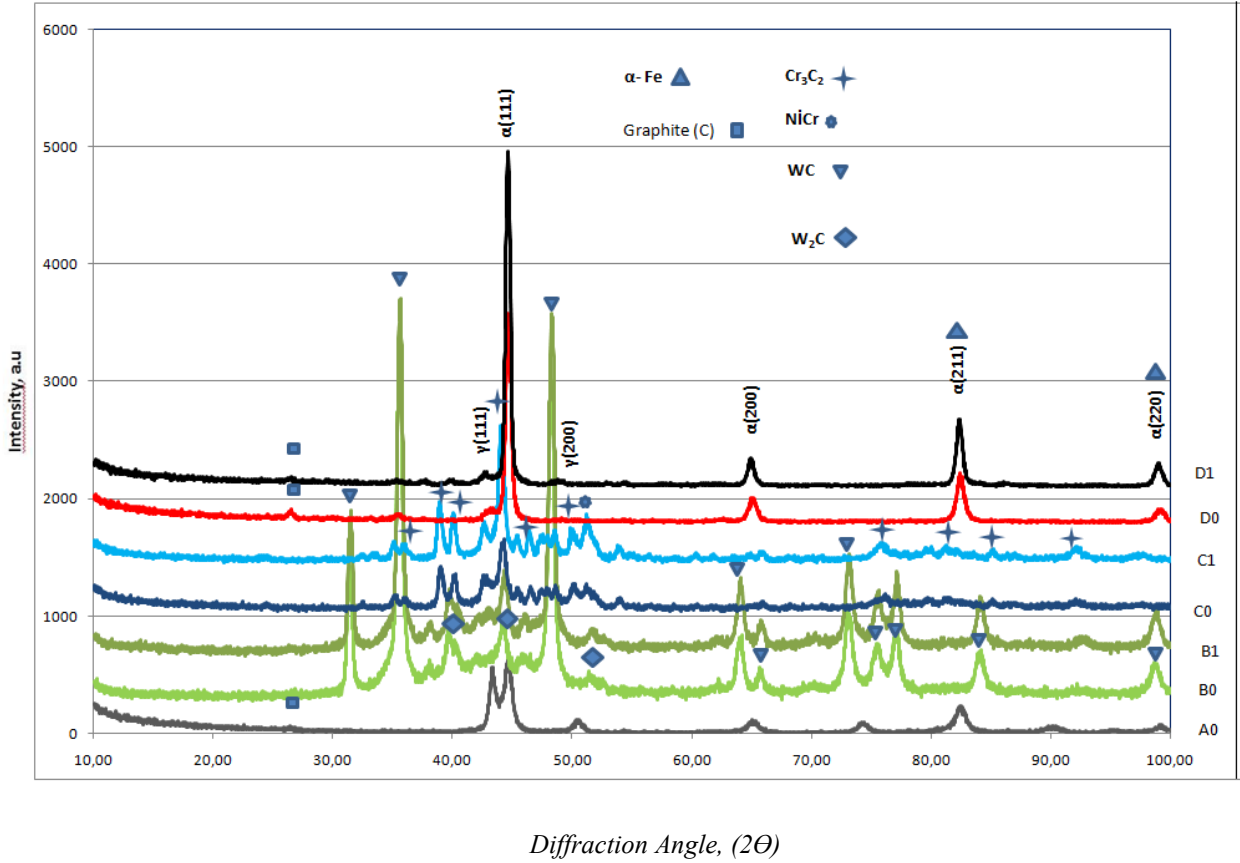


Şekil. 8 Cr₃C₂-%25NiCr kaplanmış diskin SEM görüntüleri

Tablo 3’de deneysel çalışmada kullanılan numaralanmış diskler ve bunların XRD analizleri Şekil 9’de verilmiştir.

Tablo 3. Deneysel çalışmada kullanılan diskler

Malzeme kodu	Malzeme adı: Hava kanallı 280,00 mm çapında fren disk
A	Orijinal diskin XRD paternleri
B0	WC-%12Co kaplı aşınma yapılmayan bölgesinden alınan XRD paternleri
B1	WC-%12Co kaplı aşınma yapılan bölgesinden alınan XRD paternleri
C0	Cr ₃ C ₂ -%25NiCr kaplı aşınma yapılmayan bölgesinden alınan XRD paternleri
C1	Cr ₃ C ₂ -%25NiCr kaplı aşınma yapılan bölgesinden alınan XRD paternleri
D0	Orijinal diskin aşınma yapılmayan bölgesinden alınan XRD paternleri
D1	Orijinal diskin aşınma yapılan bölgesinden alınan XRD paternleri



Şekil. 9 Disklerin XRD analizleri

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada dökme demirden imal edilmiş fren disk yüzeyleri Cr₃C₂-%25NiCr ve WC-%12Co sinterlenmiş tozlar HVOF tekniği kullanılarak kaplanmıştır. Frenleme testlerinde kaplanmış disklerin kalınlık azalması oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Benzer şekilde aşındırıcı olarak kullanılan balata kalınlığı azalması kaplamalı disklerde daha az oluşmuştur.

1. Cr₃C₂-%25NiCr ile HVOF ile kaplama yapıldığında fren disk yüzeyinde oluşan kaplama tabakası sürtünme katsayısını düşürdüğünden bu ve benzer aşınmanın olabileceği hareketli parçalarda kullanılabilir.

2. Balata kalınlık azalması kaplamasız disklerde 4.21 mm iken WC-%12Co sinterlenmiş toz ile kaplanan disklerde balata kalınlık azalması 2.59 mm olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla bu tür kaplanmış disklerle balatalar daha uzun ömürlü kullanılabilir.

3. Fren disklerindeki kalınlık azalması kaplamasız numunede 0.22 mm, Cr₃C₂-%25NiCr sinterlenmiş toz ile kaplanan diskte 0.03 mm ve WC-%12Co sinterlenmiş toz ile kaplanan diskte ise 0.01 mm'dir. Kaplama yapılan fren diskleri daha az aşınma gösterdiğinden araç üzerinde değişim göstermeden daha uzun ömürlü olabilecektir.

Referanslar

- [1] M. Shunmuga Priyan, A. Azad, S.Yasar Araffath, "Influence of HVOF parameters on the wear resistance of Cr₃C₂-NiCr coating", Journal of Materials Science & Surface Engineering, Vol. 4 (2), pp 355-359, 2016.
- [2] Yasunari Ishikawa, Jin Kawakita and Seiji Kuroda "Effect of Spray Condition and Heat Treatment on the Structure and Adhesive Wear Properties of WC Cermet Coatings" Materials Transactions, Vol. 46, No. 7 pp. 1671 to 1676 , 2005.
- [3] Cueva A., Sinatora W.L., Guessier A.P. and Tschiptschin A., "Wear resistance of cast irons used in brake disc rotors", Wear, Vol. 255, PP. 1256-1260, 2003.
- [4] DurgaV., RaoN., BoyerB.A., CikanekH.A. and Kabat D.M., "Influence of surface characteristics and oil viscosity on friction behavior of rubbing surfaces in reciprocating engines". Fall Technical Conference ASME-ICE, Vol. 31-2, Paper No. 98-ICE-131, PP. 23-35, 1998.
- [5] Fang W., Cho T.Y., Yoona J.H., SongK.O., HurS.K., YounbS.J. and Chunc H.G., "Processing optimization, surface properties and wear behavior of HVOF spraying WC-Cr-Ni coating", materials processing technology, Vol. 209, PP. 3561-3567, 2009.
- [6] Fleury E., Lee S.M., Kima J.S., Kima W.T., Kimc D.H. and Ahnd H.S., "Tribological properties of Al-Ni-Co-Si quasicrystalline Coating against Cr-coated cast iron disc", Wear, Vol. 253, PP.1057-1069, 2002.
- [7] Flor S., Beitrag Z. and Gerard B., "Application of thermal spraying in the automobile industry", Surface and Coatings Technology, Vol. 201, No. 8, PP. 2028-2031, 2003.
- [8] Priyan M.S. and Hariharan P., "Micro abrasive wear resistance of FeSiNiCr alloy coating deposited by HVOF coating", Surface Science and Engineering, Vol. 7, No. 3, PP. 250-268, 2013.
- [9] Priyan M.S., Hariharan P., Azad A. and Kumar K.S., "Microstructure and Wear Analysis of FeBCr Based Coating Deposited by HVOF Method", Tribology in industries, Vol. 36, No. 2, PP. 134-143, 2014.
- [10] M.S. Priyana, P. Hariharana, "Wear and Corrosion Resistance of Fe Based Coatings by HVOF Sprayed on Gray Cast-Iron for Automotive Application", Tribology in Industry, Vol. 36, No. 4 394-405, 2014.
- [11] R.G., Bonora, M.O.H. Cioffi, G.S. Junior, L.F.V. Santos, "Fatigue in AISI 4340 steel thermal spray coating by HVOF for aeronautic application", Procedia Engineering, vol. 2, PP. 1617-1623, 2010
- [12] Johansson S., Frennfelt C., Killinger A., Nilsson P.H.,

- Ohlsson R. and Rosen B.G., "Frictional evaluation of thermally sprayed coatings applied on the cylinder liner of a heavy duty diesel engine: Pilot tribometer analysis and full scale engine test", *Wear*, Vol. 273, No. 1, PP. 82-92, 2011.
- [13] Picas J.A., Forn A. and Matthaus G., "HVOF coatings as an Alternative to Hard Chrome for pistons and valves", *Wear*, Vol. 261, PP. 477-484, 2006.
- [14] Liam P., Antony Pilkington, "The Dry Sliding Wear Behavior of HVOF-Sprayed WC: Metal Composite Coatings", *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 23, Issue 9, pp 3266–3278, September 2014
- [15] Houdkova S., Zahalka F., Kasparova M. and Berger L.M., "Comparative Study of Thermally Sprayed Coatings Under Different Types of Wear Conditions for Hard Chromium Replacement", *Tribology*, Vol. 43, No. 4, PP. 139-154, 2011.
- [16] Skopp A., Kelling N., Woydt M. and Berger L.M., "Thermally Sprayed titanium suboxide coatings for piston ring/cylinder liners under mixed lubrication and dry-running", *Wear*, Vol. 262, No. 8, PP. 1061-1070, 2007.
- [17] Zhou Z., Wang L., Wang F.C., Zhang H.F., Liu Y.B. and Xu S.H., "Formation and corrosion behavior of Fe-based amorphous metallic coatings by HVOF thermal spraying", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 204, PP. 563-570, 2009.
- [18] Ji, GC, Li, CJ, Wang, YY & Li, WY, "Micro structural Characterization and abrasive wear performance of HVOF sprayed Cr₃C₂-NiCr coating", *Surface Coatings & Technology*, vol. 200, pp. 6749-6757, 2006
- [19] Lih, WC, Yang, SH, Su, CY, Huang, SC, Hsu, IC & Leu, "Effects of process parameters on molten particle speed and surface temperature and the properties of HVOF CrC - NiCr coatings", *Surface and Coatings Technology*, vol. 133-134, no. 1, pp. 54-60, 2000
- [20] Bhanu Pratap, Vijay Bhatt, Vikas Chaudhary, "A Review on Thermal Spray Coating", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 6, Issue 5, 2015.

THE EFFECT OF TEMPERING PROCESS ON MECHANICAL PROPERTIES OF P460 STEELS JOINED BY SUBMERGED ARC WELDING

*Mustafa Turkmen*¹, **Ugur Caligulu*², *Haluk Kejanli*³, *Tansel Tunçay*⁴

¹Kocaeli University, Hereke Vocational School, Metallurgy Department, 41800 Kocaeli

²Firat University, Technology Faculty, Metallurgy and Materials Eng. Depart., 23119 Elazığ

³Dicle University, Engineering-Architecture Faculty, Mechanical Eng. Depart. 21000 Diyarbakir

⁴Karabük University, Technology Faculty, Manufacturing Eng. Depart., 78100 Karabük

mustafa.turkmen@kocaeli.edu.tr, ucaligulu@firat.edu.tr, kejanlih@dicle.edu.tr, tanseltuncay@karabuk.edu.tr

Abstract: *In this study, P460 steels joined by using submerged arc welding method under different parameters (welding speed and current values). Tempering process was performed to welded joints at 300 °C, 400 °C and 500 °C for 1 hour. Welded joints were characterized in terms of hardness and Charpy impact test before and after tempering. As a result of the experiments, it has been found that the P460 materials show the ability to weld sufficiently strong by the submerged welding method. In addition to, the results indicated that P460 welded joints showed the lower hardness values after tempering whereas the increase in impact toughness.*

Keywords: P460 Steel, Submerged Arc Welding, Tempering, Notch Impact Test, Microhardness.

TOZALTI ARK KAYNAĞI İLE BİRLEŞTİRİLEN P460 ÇELİKLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TEMPERLEME İŞLEMİNİN ETKİSİ

Özet: *Bu çalışmada, P460 çelik malzemeler tozaltı kaynak yöntemi ile farklı kaynak parametreleri (kaynak hızı ve akım değeri) kullanılarak birleştirilmiştir. Birleştirilen numuneler 300 °C, 400 °C ve 500 °C sıcaklıklarda 1 saat süre ile temperlenmiştir. Ardından, kaynaklı birleştirilen numunelere temperleme öncesi ve sonrası olmak üzere sertlik ve darbe çentik testleri uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, P460 malzemeler tozaltı kaynak yöntemiyle yeterince güçlü bir kaynak edilebilme yeteneği göstermiştir. Ayrıca, P460 çelik malzeme kullanılarak yapılan kaynaklı bağlantıların temperleme sonrası daha düşük sertlik buna karşın darbe tokluğunda artış gösterdiği tespit edilmiştir.*

Anahtar Kelimeler: P460 Çelik, Tozaltı kaynağı, Temperleme, Çentik darbe testi, Mikrosertlik.

*Corresponding Author: Ugur Caligulu. ucaligulu@firat.edu.tr; Phone: (424) 23700 00 / 4225

1. INTRODUCTION

The alloy design of quenched and tempered steels having a widespread use in today's industry and the improvement of their performances in line with applied heat treatments are inevitable. Tempering heat process applied for further enhancement of mechanical properties of the martensitic/bainitic structures formed with rapid cooling after austenitization affects such performance contribution significantly [1]. With the developing technology, the heat treatments applied to the steel have become important in the enhancement of the mechanical and metallographic properties of the steels depending on their widespread usage. Heating and cooling of the material at the solidus temperature with appropriate sequence and time to obtain a certain state in terms of internal structure and properties is called as heat treatment [2-3]. Pressure vessels are defined as

vessels closed to the atmosphere made by joining spherical, cylindrical or conical shaped volumes used in the production, transportation or storage industrial gases (air, oxygen, nitrogen, argon, hydrogen gas) in 0.490.105, Pa 0,5 ato and higher pressure, fuel gases (natural gas, acetylene gas, desulfurized coke gas) and steam. P460 steel material is mainly used in the manufacture of bridges, tankers, pipe fittings, and pressure vessels (CO₂ and LPG tanks etc.) [4-5]. In the submerged arc welding, arc also automatically occurs between the bare electrode and the workpiece being applied to the weld zone and it continues its function under a powder stack spilled to the weld zone from a separate canal. Since the welding arc is formed under powder stack, this method is called as submerged welding method [6].

Caliguluet al., applied in oil cooling process after 1-hour annealing at 900 °C to the 38MnVS6 microalloyed steel and 41CrMo4 steel materials. The steel

materials cooled in the oil were tempered for 1 hour at 300°C, 400°C, and 500°C and the effect of the tempering process on their microstructure and mechanical properties was investigated [7]. Baday et al., investigated the effects of microstructural differences obtained by applying an over-tempering heat treatment to a medium-carbon steel on cutting forces and surface roughness. For this purpose, a quenching process was applied to a group of AISI 1050 material after 15-minute austenitization treatment at 850 °C and then cementites were spheroidized in the ferrite matrix by extreme tempering at 600°C separately for 15, 60, and 180 minutes [8]. Arslan et al., performed puncture experimental studies by processing stainless steel sheet (AISI 304) in punch machine with punches made of DIN 1.2080 and cold work tool steels, which were subjected to cryogenic process, tempered after cryogenic process and untreated, and examined the face wear behaviors forming on the punches. For this purpose, the cold work tool steel punch was subjected to deep cryogenic treatment at -145°C. Tempering was also performed after deep cryogenic process [9].

Keleştemuret al., produced a dual-phase steel from the low-carbon SAE1010 structural steel, the basic building material of the construction industry and examined the effect of tempering heat treatment on the force-elongation curve of this steel [10]. Karabulut et al., joined the micro-alloyed steel materials via the submerged welding method using a 450 A welding current value. Tempering process was applied to the welded joint [11]. Erden et al., performed three different welded joints by using general purpose structural steel and hardox hituf steel materials joined by using the submerged welding method [12].

Akay et al., joined the X60, X65 and X70 steels used in petroleum and natural gas lines via using submerged arc welding method using different wires (S1 and S2Mo) and powders (LN761 and P223). Visual and radiographic examination techniques among non-destructive methods are applied firstly to the welded joints in order to determine the surface and sub-surface defects and then, spectral analysis studies were then performed to determine wire-powder-base material compositions in the welded area. In order to determine the toughness properties of the welded joints, a notch impact test was performed. In addition, hardness and microstructure studies were also conducted on the samples [13].

In this study, P460 steel materials were joined by using submerged welding method. After the tempering process was applied to the welded joint, mechanical properties of the joints were examined. Hardness and impact notch tests were performed on the welded joints before and after the tempering and microstructure studies were conducted.

2. EXPERIMENTAL STUDY

In this study, P460 steel whose chemical analyses are present in Table 1 and mechanical properties are present in Table 2 was joined in the OERLIKON-Mz-1250BF welding machine via submerged welding method by considering welding speeds and ampere values given in Table 3.

Table 1. Chemical compositions of experimental materials

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Mo
P460	0,20	0,60	1,10	0,020	0,005	0,3	0,70	0,80	0,10
Com. wire	0,12	0,10	1,00	-	-	-	<0,30	-	0,5
Com. powder	0,10	0,4	1,60	0,016	0,007	-	-	-	0,5

Table 2. Mechanical properties of experimental materials

Materials	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	% Elongation (min)	Notch Impact Strength (J)	
				- 20 °C	+ 20 °C
P460	450	570	17	35	27
Commercial Wire	490	600	26	90	60
Commercial powder	450	515	32	-	-

Table 3. Welding parameters

Sample No	Ampere (A)	Voltage (Volt)	Welding speed (cm/min)
1st pass	500	30-32	17
2nd pass	550	30-32	20

Tempering process was carried out to the welded joints for 1 hour at 300°C, 400°C, and 500°C. Heat treatment tests were carried out in Protherm heat treatment furnace with a capacity of 1200°C. In order to determine the structural change forming in the joining region of the welded joints, optical microscope images were taken and EDS analysis was performed. In order to determine the notch impact strengths of the welded joints, the samples appropriate for TS 269/75 EN 10 045-1:1990 standard were prepared on CNC machine and lathe. Notch impact tests were performed in the INSTRON WOLPERT PW30 notch impact device with capability of applying an impact of 150 joules. In addition, microhardness scanning was performed for welded joints. Hardness and impact notch tests were applied to the samples before and after tempering. After the notch impact test, fracture surfaces were analyzed by SEM and the damage processes were determined.

The samples were sanded with waterproof sandpaper with 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 mesh, respectively, until the surface roughness was removed. These surfaces were then polished with 6 µm, 3 µm and 1 µm diamond pastes and made ready for etching. 3% Nital solution was used for the etching process.

Microstructure studies were conducted by using Nikon Eclipse L150 optical microscope. By taking images of different magnitudes from different regions of each sample, it was noted that these images could represent the entire microstructure.

Microhardness measurements were made before and after tempering. Experiments were carried out in the Q10A+ QNESS Microhardness measuring device. A load of 500 gr was applied during the hardness measurement.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microstructure

Figure 1 shows optical microscope image of the untreated material. As seen from the figure, the structure of the P460 steels was composed of ferrite and perlite phases.

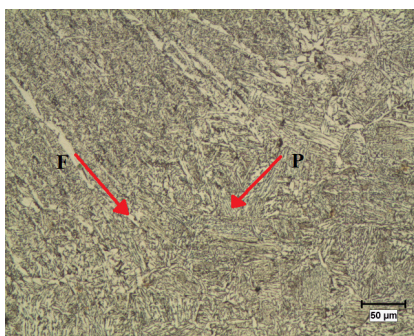


Fig. 1. Optical microstructure image of untreated material (500-550 A). (F: Ferrite, P: Perlite).

3.2. Microhardness

The hardness measurements of the welded samples were made from 10 horizontal points and 5 vertical points of the weld cross-section covering the weld metal, HAZ, and base material as seen in Figure 2. As seen from the figures, the hardness value increased with increasing ampere value in the HAZ and welding seam to the width of the weld cross-section and then decreased to the average hardness value of the base material. This situation is thought to be caused by formation of intermetallic phase in the welding seam. It was determined that the performed tempering heat treatment decreased the microhardness values of the P460 steel. It was also found that after tempering, welded joints made by using P460 steel material displayed lower hardness but they show an increase in impact toughness.

While Figure 3 shows the hardness of the welded samples, Figure 4 shows the hardness of the tempered samples.

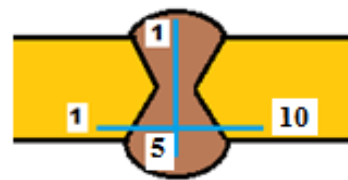


Fig. 2. Schematic illustration of microhardness measurement points.

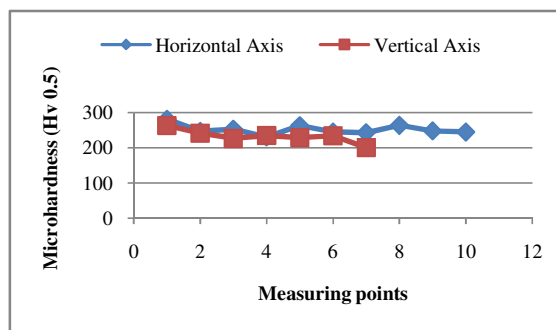


Fig. 3. Microhardness graph of horizontal and vertical axis of P460 material before tempering (500-550, ampere values).

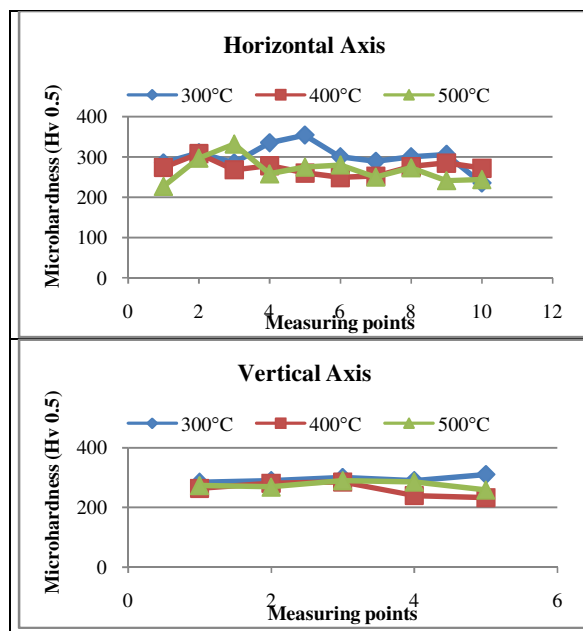


Fig. 4. Microhardness graph of horizontal and vertical axis of P460 material after tempering (500-550, ampere values).

3.3. Fracture Surfaces and EDS Analysis

The elemental transitions in the P460 materials used in the experiments were calculated with the EDS analysis. As a result of this analysis, it was determined that the highest elemental transition (%) occurred in Fe

and C elements. When the fractured surface and SEM images of the material were examined, it was observed that ductile fracture mechanism occurred.

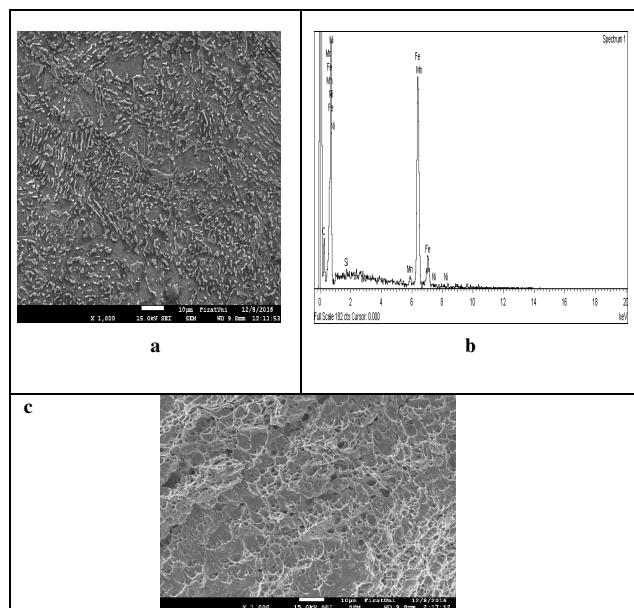


Fig. 5. P460 steel a) SEM image b) EDS graphic c) Fracture surface image (500-550 ampere values).

The elements and rates detected in EDS analyses are given below (Table 4).

Table 4. EDS analysis results

Element	Weight %	Atomic %
C	24.90	60.57
Si	0.27	0.28
Mn	1.25	0.67
Fe	73.33	38.36
Ni	0.24	0.12
Totals	100.00	100.00

3.4. Notch Impact Test Results

Table 5. Notch impact test results of welding samples.

BEFORE TEMPERING NOTCH IMPACT TEST RESULTS (Joule)			
C°	(-20)	0	(+20)
Test Results	63	97	115

Table 6. After tempering notch impact test results (Joule)

Temper Temperature	(-20)	0	(+20)
300°C	39	70	145
400°C	52	110	128
500°C	61	45	115

When the notch impact test results were evaluated, it was found that the notch impact energy of the base material was lower than the welded and tempered

samples. As a result of the impact test, it was observed that while the highest value was obtained at 300°C tempering temperature and at +20°C temperature (145 Joule), the lowest one was obtained at 300°C with the temperature of -20°C (39 Joule). When the notch impact test results before and after tempering were compared, the highest impact strength was observed at -20°C in the welded sample and in the impact test performed at 0°C, the sample tempered at 400°C was determined to have a higher impact strength than the welded sample. At +20 °C, the welded sample was observed to have the same impact strength as the sample tempered at 500°C and the lowest impact strength (115 Joule).

4. RESULTS

- P460 materials were successfully joined with submerged welding method.
- According to microhardness results; the hardness value in HAZ and welding seam increased with increasing ampere value and then decreased to average hardness value of base material. This situation was thought to be caused by formations of intermetallic phase in the welding seam. It was determined that the performed tempering heat treatment reduced the microhardness of the P460 steel.
- The elemental transitions in the P460 materials used in the experiments were calculated with the EDS analysis. As a result of this analysis, it was determined that the highest elemental transition (%) was observed in Fe and C elements.
- When the fracture surface and SEM images of the material were examined, it was observed that the ductile fracture mechanism occurred.
- When the notch impact test results were evaluated, it was found that the notch impact energy of the base material was lower than welded and tempered samples. As a result of the tempering heat treatment, it was determined that the notch impact strength increased depending on the increased temperature.

REFERENCES

- [1] S., Karagoz, A., Atapek, (2007), The Fracture Behaviour of Boron Added Armor Steels, Proceedings of 8th International Fracture Conference, p.186-196.
- [2] M., Uzkut, I., Ozdemir, (2001), The Investigation of The Effect of Various Heating Rates on the Mechanical Properties of Different Steels, DEU Faculty of Eng. Journal of Science and Eng., Vol: 3, No: 3, p. 65-73.
- [3] N.S., Koksai, M., Uzkut, B.S., Unlu, (2004), Differences in Mechanical Properties of Steels of Different Carbon Concentration by Heat Treatment, DEU Faculty of Eng. Journal of Science and Eng., Vol: 6, No: 2, p. 95-100.

- [4] E., Kimsesiz, E., Cayir, N., Reis, V., Gemici, U., Erdonmez, C., Karakus, M., Torlakoglu, "Periodic Test and Control System of Pressure Vessels", III. National Hydraulic Pneumatic Congress and Exhibition, p. 353-361.
- [5] TMMOB Chamber of Mechanical Engineers, Periodical Control Engineer Manual-II Pressure Vessels, p.79, 2001.
- [6] E., Kulahli, Welding Science Submerged Welding Method, (1988), Oerlikon publications, Vol: 2, p. 1.
- [7] U., Caligulu, M., Aras, M., Turkmen, (2016), Effect of Tempering on Microstructure and Hardness Properties of Oil Quenched Steel, Published in 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 3-5, p.600-607.
- [8] S., Baday, H., Basak, A., Gural, (2014), Investigating of Over-Tempering Medium Carbon Steel in Terms of Cutting Forces and Surface Roughness, Electronic Journal of Machine Technologies Vol: 11, No: 4, p.1-9.
- [9] Y., Arslan, (2014), The Effects of Deep Cryogenic Treatment and Tempering on The Face Wear of DIN 1.2080 Cold Work Steel Punches, Journal of Advanced Technology Sciences Vol 3, No 1, p. 45-55.
- [10] O., Kelestemur, S., Yildiz, (2009), Effect of Tempering Heat Treatment on The Tensile Curve of Reinforced Steel Subjected To Dual-Phase Heat Treatment, ISSN:1306-3111 e-Journal of New World Sciences Academy, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 1A0002.
- [11] H., Karabulut, M., Turkmen, "Effect of Tempering Process on Microstructure and Mechanical Properties of Microalloyed Steels Joined by Submerged Arc Welding", Dicle University Eng. Faculty, Journal of Eng-Arthitect, 7(3), pp; 587-594, 2016.
- [12] M.A., Erden, S., Gunduz, U., Caligulu, M., Boz, (2016), Investigation Of Hardness And Microstructure Properties Of Non Alloyed And Hardox Steel Combined With Submerged Arc Welding Method, 4th International Conference On Welding Technologies and Exhibition, Gaziantep University, Vol:1, p. 784-792.
- [13] A. A., Akay, Y., Kaya, N., Kahraman, (2013), Joining of Materials with Different Properties Through Submerged Arc Welding Process And Destructive and Non-Destructive Testing of The Joints, SAU J. Sci. Vol: 17, No 1, p. 85-96.
- [14] E., Kesti, (2009), Investigation of the effects of watering medium on microstructure and mechanical properties of Ç4140 steel, M.Sc. Thesis, Selcuk University Institute of Science and Technology.

