

POLİTEKNİK DERGİSİ

Journal of Polytechnic

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

	<u>Sayfa No</u>
Bilgehan ARSLAN, Şeref SAĞIROĞLU Mobil Cihazlarda Biyometrik Sistemler Üzerine Bir İnceleme A Review on Biometric Systems Used in Mobile Devices	101-114
Ömer Faruk MURATHAN, Volkan KILIÇLI Nano Beynitik Çelikler Nano Bainitic Steels	115-128
Mehmet ERDEM, Mustafa KARABULUT Karbon Nanotüp ile Modifiye Edilmiş Filaman Sarım Boruların İç Basınç Altındaki Hasar Davranışı Damage Behavior of Filament Winding Pipes Modified with Carbon Nanotubes Under Internal Pressure	129-134
Bahar ASLAN, Erdoğan KÖSE, Ulvi ŞEKER Ofset Baskı Merdanelerinde Meydana Gelen Değişim ve Bu Değişimin Densite Üzerine Etkisinin İncelenmesi The Examination of the Changes Occurred on Offset Printing Roller and its Effects on Density	135-140
Duygu İPCİ, Halit KARABULUT Dynamic and Thermodynamic Examination of a Two-Stroke Internal Combustion Engine.....	141-154
Harun GÖKÇE 3B CNC Torna Simülasyon Yazılımları için Poligon Tabanlı Nesne Modelleme Object Modeling Based Polygon For 3D CNC Lathe Simulation Softwares.....	155-161
Murat ARIBAŞ, Uğur ÖZCAN Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi Evaluation of Academic Research Projects Using AHP and TOPSIS Methods	163-173
Savaş BAYRAM*, M. Emin ÖCAL, Emel LAPTALIORAL, C. Duran ATİŞ Yapım Maliyeti Tahmininde Birim Fiyat Yöntemi – Yapı Yaklaşık Maliyetleri Kıyaslaması Comparison of Unit Price Method and Unit Area Cost Method for Construction Cost Estimation.....	175-183
Nuri ŞEN, Naci KURGAN, İbrahim KARAAĞAÇ, Onuralp ULUER Ilık Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması An Experimental Investigation of the Lubrication Effects on Formability In Warm Deep Drawing Process	185-193
Yakup PUTGÜL, Duran ALTIPARMAK Taşıt Süspansiyon Sistemi Çeşitleri ve Ön Düzen Geometrisine Etkileri Vehicle Suspension System Types and Their Effects on Front Axle Geometry.....	195-202

POLİTEKNİK DERGİSİ

Journal of Polytechnic

POLİTEKNİK DERGİSİ

VOLUME / CİLT 19 NUMBER / SAYI 2 JUNE / HAZİRAN 2016



Politeknik Dergisi

Journal of Polytechnic

Sahibi / Owner
Prof. Dr. Süleyman BÜYÜKBERBER
Rektör / Rector

Yayın Yönetmeni / Publishing Manager
Prof. Dr. Seyhan FIRAT
Dekan / Dean

Editör / Editor
Prof. Dr. Adnan SÖZEN

YARDIMCI EDİTÖRLER/ASSOCIATE EDITORS

Prof. Dr. Yusuf ÖZÇATALBAŞ, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Musa ATAR, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Erol KURT, Gazi Üniversitesi
Prof. Dr. Recep DEMİRCİ, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Onuralp ULUER, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Mustafa ÖZER, Gazi Üniversitesi
Doç. Dr. Tolga ÖZKAN, Gazi Üniversitesi

YAYIN DANIŞMA KURULU/EDITORIAL ADVISORY BOARD

Abdullah KURT , Gazi Üniversitesi	M. Baki KARAMIŞ , Erciyes Üniversitesi
Abid ABU-TAIR , Berzeit University	Mahmood GHORANNEUISS , Azad University
Adel NASİRİ , University of Wisconsin Milwaukee	Mehmet TÜRKER , Gazi Üniversitesi
Arcan DEREÇİOĞLU , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Metin GÜRÜ , Gazi Üniversitesi
Arif WANI , California State University	Metin İPEK , Sakarya Üniversitesi
Ayhan ÖZÇİFÇİ , Karabük Üniversitesi	Murat HOSOZ , Kocaeli Üniversitesi
Ayşe MURATHAN , Gazi Üniversitesi	Mustafa AKTAŞ , Gazi Üniversitesi
Bekir Sami YILBAŞ , King Fahd University	Myung Hyun KİM , Kyung Hee University
Cevdet SÖĞÜTLÜ , Gazi Üniversitesi	Nadire Şule ATILGAN , Hacettepe Üniversitesi
Derviş KARABOĞA , Erciyes Üniversitesi	Nizamettin KAHRAMAN , Karabük Üniversitesi
Engin ÖZDEMİR , Kocaeli Üniversitesi	Nobumasa Matsui , Nagasaki University
Ercan ÖZGAN , Düzce Üniversitesi	Nusret AS , İstanbul Üniversitesi
Erol ARCAKLIOĞLU , TÜBİTAK	Osman ISIKAN , Marmara Üniversitesi
Farzollah MIRZAPOUR , University of Zanjan	Peter LUND , Helsinki University of Technology
Halil İbrahim BAKAN , TÜBİTAK, MAM	Ramazan BAYINDIR , Gazi Üniversitesi
Halit KARABULUT , Gazi Üniversitesi	Ramazan KURT , Bursa Teknik Üniversitesi
Hani H.W.SAIT , King Abdulaziz University	Ramazan YILMAZ , Sakarya Üniversitesi
Hanifi SARAÇ , Yıldız Teknik Üniversitesi	Recep ÇALIN , Kırıkkale Üniversitesi
Henryka Danuta STRYCZEWA , Politechnika Lubelska	Rodica MILICI, Stefan cel Mare Suceava University
Hüseyin AKILLI , Çukurova Üniversitesi	Saffa B. RIFFAT , Nottingham University
Hüseyin EKİZ , Süleyman Şah Üniversitesi	Saw Sor HEOH , INTI International University
Hüseyin Rıza BÖRKLÜ , Gazi Üniversitesi	Suat CANBAZOĞLU , İnönü Üniversitesi
İbrahim DİNÇER , University of Ontario, Institute of Technology	Süleyman GÜNDÜZ , Karabük Üniversitesi
İbrahim SEFA , Gazi Üniversitesi	Seyhan FIRAT , Gazi Üniversitesi
İhsan KORKUT , Gazi Üniversitesi	Sing LEE , Institute for Plasma Focus
İlhami ÇOLAK , Gazi Üniversitesi	Souad A.M.ALBATHI , International Islamic University of Malaysia
İlker USTA , Hacettepe Üniversitesi	Şükrü DURSUN , Selçuk Üniversitesi
İshak KARAKAYA , Orta Doğu Teknik Üniversitesi	Tayfun MENLİK , Gazi Üniversitesi
İsmail AYDIN , Karadeniz Teknik Üniversitesi	Turgay AKBULUT , İstanbul Üniversitesi
Jamal KHATIB , University of Wolverhampton	Ulvi ŞEKER , Gazi Üniversitesi
Jerzy Smardzewski , Ponzan University	Ülkü SAYIN , Selçuk Üniversitesi
John KINUTHIA , University of South Wales	Yakup İÇİNGÜR , Gazi Üniversitesi
Lale TÜKENMEZ ERGENE , İstanbul Teknik Üniversitesi	

Cilt / volume : 19

Sayı / number : 2

Haziran / june : 2016

p-ISSN 1302-0900 ; e-ISSN 2147-9429

Politeknik Dergisi, Gazi Üniversitesi tarafından yılda **dört sayı** olarak yayınlanmaktadır / Journal of Polytechnic is published **four issues** per year by Gazi University

Politeknik Dergisi, Gazi Üniversitesi Senatosunun 20 Mart 1998 tarih ve 3 sayılı toplantısında alınan 98/30 sayılı kararı uyarınca hakemli dergi olarak yayınlanmaktadır.

Politeknik Dergisinin 2013 yılından itibaren yayınlanan sayıları "**Mühendislik ve Temel Bilimleri**" dallarındaki makaleleri kapsamaktadır.

BU SAYIYA (CİLT 19 SAYI 2) KATKI VEREN HAKEMLER

Bilge DEMİR	İhsan KORKUT
Candan CENGİZ	Latif UĞUR
Cemal ÇARBOĞA	Mehmet OKTAV
Diyar AKAY	Murat HOŞÖZ
Fatih Emre BORAN	Murat ÖZBAYOĞLU
Gökhan ŞENGÜL	Mürsel ERDAL
Gürel ÇAM	Sahir SALMAN
Hakan DİLİPAK	Serdar YÜCESU
Hüdayim BAŞAK	Uğur ARABACI
Hüseyin BAYRAKCEKEN	Ulvi ŞEKER

Yazışma Adresi / Correspondence Address :

Politeknik Dergisi Editörlüğü
Gazi Üniversitesi
Teknoloji Fakültesi
Tanıtım ve Yayın Müdürlüğü
06500 Teknikokullar
ANKARA –TÜRKİYE

Tel : 0312-202 34 12

Fax : 0312-212 00 59

Elektronik Posta Adresi / e-mail : politeknik@gazi.edu.tr

Teknik Sorumlu / Technical Manager : **Serhat KARYEYEN**

Dizgi / Compositor : **İdris ÖZÇELİK**

Mobil Cihazlarda Biyometrik Sistemler Üzerine Bir İnceleme

Bilgehan ARSLAN, Şeref SAĞIROĞLU

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü 06500 Ankara, TÜRKİYE

(Geliş / Received : 10.04.2015 ; Kabul / Accepted : 08.12.2015)

ÖZ

Mobil cihazların kullanımlarındaki artış, bu cihazların farklı kullanım alanlarının oluşmasına sebep olmuştur. Bu alanlarından biri de mobil cihazlarda kullanılan biyometrik sistemler ve yöntemlerdir. Biyometrik sistemler, mobil cihazlar üzerinde uzaktan erişim modeli oluşturmak, kişisel veri gizliliğini sağlamak, erişim güvenliğini kişiselleştirmek ve kolaylaştırmak amacıyla kullanılabilir. Bu çalışmada, mobil cihazlarda kullanılan biyometrik sistemler, metodlar, teknolojiler araştırılmış ve bunların sağladığı üstünlükler ile dezavantajlar verilmiştir. Literatürde yapılan çalışmalar, kullanılan algoritmalar, teknolojiler, metrikler, kullanıldığı alanlar, mobil yüz, avuç izi, iris, ses, parmak izi tanıma gibi farklı biyometrik sistemler için araştırılmış ve yapılan çalışmalar değerlendirilmiştir.

Anathar Kelimeler: Mobil, biyometri, tanıma, güvenlik, iris, parmak izi, ses, avuç izi, yüz, uzak erişim, veri gizliliği.

A Review on Biometric Systems Used in Mobile Devices

ABSTRACT

Rise of using mobile devices has led to different usage areas for these devices. One of them is biometric systems and methods used in mobile devices. They create a remote access model on mobile devices, ensure confidentiality of personal data on mobile devices and these are used in order to personalize and facilitate access security. In this study, biometric systems used in mobile devices, methods and technologies have been investigated. Advantage and disadvantages of them are given. The studies in the literature such as algorithms, technologies, metrics, usage, are investigated for different biometric systems. Mobile face, palm print, iris, voice, fingerprint recognition and studies are evaluated.

Keywords: Mobile, biometrics recognition, security, iris, fingerprint, voice, palm print, face, remote access, data privacy

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Mobil ortamlar, rahat kullanım alanı ve kullanıcının isteklerini temel alan uygulamalar sebebiyle rağbet görmektedir. Mobil teknolojilerin günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olarak yer edinmeye başlaması, dikkatlerin bu noktada sunulan mobil hizmetlere yoğunlaşmasını sağlamıştır. Bilgi teknolojisi çağında, mobil cihazların temel haberleşme cihazları olarak kullanılmasının dışında kişisel birçok alanda da hizmet vermektedir. Kablosuz telefon iletişim gücündeki büyük artış, mobil cihazlarda çalışabilen spesifik uygulama çeşitliliği ve bununla birlikte bu alandaki üretimin artması sebebiyle çok sayıda kullanıcı tarafından tercih edilmesindeki en büyük etkidir.

Bu çalışmada mobil biyometrik sistemler üzerine genel bir bakış açısı sunmak amaçlanmıştır. Mobil biyometrik sistemler ile alakalı yapılan literatür araştırması sonucunda, bu alanda yapılan çalışmaların kısıtlı sayıda olduğu görülmüştür. Yapılan çalışma doğrultusunda, mobil cihazlar üzerinde biyometri teknikleri kullanmak isteyen araştırmacılara yeni bir bakış açısı oluşturmak ve geliştireceği uygulamalar için yol göstermek

amaçlanmıştır. Şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelenerek, mobil biyometrik tekniklerden hangisinin en yaygın olduğu, kullanılan tekniklerin avantaj ve dezavantajları, uygulama esnasında oluşabilecek sorunlar incelenmiş ve kullanılan yöntemler kıyaslanarak hangi alanda eksikliklerin olduğunun tespit edilmesi amaçlanmıştır.

Literatür araştırmasında incelenen her çalışmada belirli bir biyometrik tekniğin kullanıldığı bir mobil sistem geliştirilmiş, bu sistemin çalışması için gerekli platformun tasarımı ve geliştirilen uygulamada kullanılan teknikler üzerinde durulmuştur. Bu çalışmada farklı biyometrik teknikler kullanarak geliştirilen uygulamalar birbirleri ile kıyaslanmış ve hangi tekniklerin kullanımının diğerlerine oranla yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan bu çalışmanın, biyometrik yöntemlerin mobil cihazlarda ana hatlarıyla uygulanabilirliği konusunda yol gösterici olması beklenmektedir.

2. MOBİL BİYOMETRİK SİSTEMLER (MOBILE BIOMETRIC SYSTEMS)

Mobil cihaz kullanımındaki oran gün geçtikçe artmakla birlikte, artık mobil cihazlar günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası haline gelmektedir. BTK verilerine

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: bilgehanarslan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 101-114

göre, 2014 yılı ocak ayında 69 milyon 797 mobil telefon kullanan abone bulunmaktayken bu sayının 2014 yılı sonu itibarıyla 71 milyon 888 bine yükseldiği görülmektedir [1].

Mobil teknolojilerin sürekli gelişimi ve artan talep de göstermektedir ki gün geçtikçe mobil sistemler kullanılan tekniklerin yerini alacaktır. Kullanıcıya ait bir mobil cihaz üzerinden, kişinin kimlik bilgileri, kredi kartı numaraları ve şifreleri, adresi, telefonu, kişisel resim ve videoları, Facebook, WhatsApp, Twitter, LinkedIn, Google+ vb. sosyal ağlara giriş için kullandığı şifre ve kullanıcı adı bilgileri gibi birçok veriyi erişilebilmektedir. Bu sebeple mobil cihazlarda güvenliği artırabilmek amacıyla PIN (Personal Identification Number) veya token gibi yöntemlere başvurulmuştur. Fakat bu tip yöntemlerde kullanıcı tarafından belirlenen şifrenin kalitesine göre güvenlik seviyesi belirlenmektedir. Kullanıcı basit bir şifre kullandığında kötü niyetli kişilerce ele geçirilen mobil cihazın şifresi çözülebilir. Noktalama işaretleri, rakam ve harfin kombinasyonları, ASCII karakterlerinden oluşan şifreler daha spesifik olduğundan tahmin edilemezler fakat karmaşıklıklarından dolayı kullanıcı tarafından unutulabilir, kullanım açısından elverişli olmayabilir [2]. Bu sebeple kullanıcı tarafından hatırlanmaya ihtiyaç duyulmayan ve aynı zamanda bireyi ayırt edebilecek kadar spesifik bir yöntem arayışı içine girilmiştir. Görülmektedir ki biyometrik teknikler, genellikle güvenlik seviyelerini artırmak için, önceki kimlik doğrulama yöntemlerine ek olarak kullanılan yöntemlerdir ve iyi bir çözüm olarak görülmektedir.

Biyometrik tanıma işlemi gerçekleştirilirken eşsiz olarak belirlenen insan özellikleri kullanılmakta olup biyometrik sistemler temelde 2 farklı grup üzerinden incelenir [3]. Bunlar fizyolojik ve davranışsal özelliklerdir. Parmak izi, DNA, retina, iris vb. gibi insan vücudunun bir bölümünün doğrudan ölçülmesi ile uygulanan sistemler fiziksel özellikler kullanılarak tasarlanan biyometrik sistemlerdir. İmza, yürüyüş, konuşma vb. özellikler üzerinden dolaylı olarak

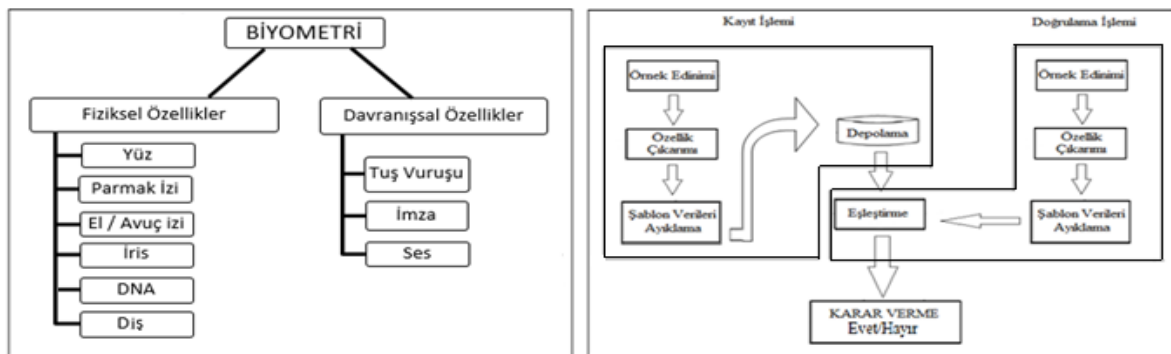
doğrulama işlemleridir. Tanımlama işlemi, büyük miktarda işlem gücü gerektirir ve kullanılan veritabanı çok büyük ise, çok zaman alır. Doğrulama işleminde ise depolanmış örnek şablon verisi ile kontrol için elde edilen veri, karşılaştırma işlemine tabi tutulduğundan daha az işlem gücü gerektirmektedir.

Biyometrik sistemler önceden depolanmış görüntülerin (veritabanı görüntüleri) tanıma işlemi için anlık elde edilen görüntülerle (prob görüntüler) belirgin ya da ayırıcı özellikleri dikkate alarak eşleştirilmesini sağlar. Tanıma sürecinde tüm biyometrik sistemler belirli adımlar dâhilinde hareket ederler. Her yöntemde ayırt etmek amacıyla kullanılan karakteristik özellik ve buna bağlı sınıflandırma, analiz etme ve doğrulama işlemleri gerçekleşir [4]. Biyometrik tanıma işlemi basit olarak dört ayrı basamakta incelenmektedir [5-10]:

- Görüntü Elde Etme: Öncelikle kullanılacak yöntemle ait donanımlar ile analog veri ortamından dijital veri ortamına gerekli karakteristik özellik (parmak izi, iris retina ağ yapısı vb.) aktarılır.
- Özellik Çıkarma: Analog ortamdan dijital ortama aktarılan veri bir takım işleme tabi tutulur. Aktarılan veriden, tanıma işleminde doğru sonucu alabilecek oranda gerekli parametreler ayırılır.
- Veri tabanı Depolama: Elde edilen bu parametre değerleri güvenlik seviyeleri yüksek veri tabanlarında depolanır. Kontrol işleminin gerçekleşeceği sırada mevcut depolanan parametreler ile anlık ölçülen parametre değerleri karşılaştırılır.
- Eşleştirme: Karşılaştırma işleminin yapılması için gerekli olan verileri tutacak veri tabanı, doğruluğu kontrol edecek algoritmalar ve yöntemlere tabi tutulan ilk ve son verinin, kesişme oranlarına göre tanıma işlemi gerçekleşir.

Şekil 1'de biyometrik sistemler ve bu sistemlerin çalışma basamakları gösterilmektedir

Günümüzde, mobil cihazlardaki işlem gücünün artışı, bu cihazlarda kullanılan kablosuz ağ teknolojilerinde



Şekil 1. (a) Biyometrik Sistemler ve Çalışma Şeması (Biometric Systems and Recognition Process Scheme)

kullanıcı tarafından gerçekleştirilen bir işlemi ölçüp elde edilen verilere dayanan sistemler ise davranışsal özellikler kullanılarak tasarlanan biyometrik sistemler olarak adlandırılır. Biyometrik tanıma işlemi iki aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar tanımlama ve

görülen hızlı gelişim ve bu cihazların kullanıcıya sunduğu (kullanıcıya yönelik e-bankacılık, e-ticaret, güvenli mobil ödeme uygulamaları ve ulusal kullanım için e-ticaret, sınır kontrolü, pasaport kontrolü, suçluya ait araştırma, ceset kimlik tespiti, anne ve babalık tespiti

gibi uygulamalar) farklı hizmetlerin çeşitliliği sebebiyle mobil cihazlar biyometrik tekniklerle birlikte anılmaktadır. Biyometrik sistemlerin mobil cihazlarda 2 farklı kullanım amacı bulunmaktadır. Bunlar:

- Biyometrik sistemler pahalı teknolojilerdir. Çünkü bu sistemlerde kullanılan yöntemler pahalıdır ve kullanım alanları bakımından kısıtlamalar vardır. Yüksek güvenlik bölgelerine erişim ve giriş çıkış kontrolü gereken noktalarda (hava alanı, teknik merkezler ve laboratuvar, banka, hastane, sınır kontrolü noktaları) kullanılan bu sistemlerin çalışması için gerekli donanımsal ekipmanlar çok fazla yer kaplamaktadırlar ve taşınabilir özelliğe sahip değildirler. Bu sebeple düşük maliyetli, mobil sistem tasarımı biyometrik yöntemler için elzem

3. İLGİLİ ARAŞTIRMALAR (RELATED WORKS)

Biyometrik sistemler geniş kullanım alanına sahiptir. Mobil cihazlarda biyometrik tanıma, güvenli ve akıllı bilgilendirme sistemleri aktif olan araştırma alanlarından biridir. Bugüne kadar farklı araştırmalar, mobil / akıllı telefonlar için kullanılabilir farklı biyometrik teknikler üzerinde yapılmıştır. Bu teknikler, parmak izi tanıma, yüz tanıma, el geometrisi, iris tanıma, ses tanıma, imza vb. yöntemlerdir. Bu çalışmada, mobil biyometrik sistemlerde yapılan uygulamalar akademik ve sektörel (ticari) olarak ikiye ayrılıp incelenmiş ve alt başlıklarda açıklanmıştır.

3.1. Akademik Çalışmalar (Academic Researches)

Tablo 1’de mobil biyometrik sistemler üzerine yapılan akademik çalışmalar, bu çalışmada kullanılan teknikler,

Çizelge 1. Biyometrik Yöntemler, Kullanılan Teknikler, Veri setleri, Kullanım Oranları (Biometric Methods, Utilized Techniques, Data Sets, Usage Rates)

Özellik	Kullanım Oranları	Kullanılan Teknikler	Veri Tabanları	Avantajlar-Dezavantajlar
Parmak İzi	% 15 [75]	-	Atmel Fingerprint [2]	<ul style="list-style-type: none"> • Mobil cihazlarda uygulamanın gerçekleşmesi için harici donanım gerektirmektedir. • Karakteristik olarak ayırt edici özelliği yüksektir.
Ses	% 13 [75]	MFCC [16] [17] [20], GMM [16] [20], HMMs [17], ASR [19], SVM[19], UBM [20]	AURORA 2.0 [16]	<ul style="list-style-type: none"> • Uygulaması kolay fakat kolay taklit edilme özelliğine sahiptir. • Ses teline zarar verebilecek hastalık vb. durumlardan etkilenmektedir.
İris	% 16 [75]	Circular Edge Detection [25], Hough Transform [25], AGF [26], SRs [27], AdaBoost [27], SVM [28], LBP [28], Gabor Filter [28][29]	Chungbuk Iris database [23], Casia [25] [26] [27], MOBIOFake Database [28], MOBIO Multimodal Database [28], MICHE dataset [31]	<ul style="list-style-type: none"> • Dış etkenlerden neredeyse hiç etkilenmeyecek bir özelliktir. • Karakteristik özelliği ve ayırt edicilik oranı çok yüksektir. • Hassas çekim tekniği ve yüksek çözünürlüğe sahip görüntü gerektirir. • Bazı mobil cihazlardaki düşük kapasiteli kamera yeterli olmadığından harici donanım gerektirmektedir.
Yüz	% 15 [75]	PCA [32], Okao Vision [33], LBP [20] [36], SVM [35], AdaBoost [35] [36], HaarLike [36], Viola Jones Algorithm [30]	The Color FERET Database, Surveillance Cameras Face Database, The Yale Face Database, Multi-PIE [71]	<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek referans noktası gerektirmesinden dolayı performans oranını düşürmektedir. • Parmak izi gibi kolay taklit edilemezler. • Yara izi, zamana bağlı yaşlanma gibi durumlardan etkilenir.
Avuç İzi	% 10 [75]	ROI [38], Gauss Filtreleme [37] [40]	IIT Delhi Database [39], Knuckle Database [39], PolyU palmpoint database [40]	<ul style="list-style-type: none"> • Uygulanacak kişi sayısı belirli bir sınırdan altında olan alanlar için kullanımı mümkündür. • Harici donanım gerektirmektedir.
Diş	-	PCA[41], LDA [41], EHMM[41] [42], HaarLike [41] [42], AdaBoost [41] [42]	-	<ul style="list-style-type: none"> • Zamana bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Dış etkenlerden etkilenme oranı yüksektir.
Yürüyüş (Silüet)	-	DTW [43], FastDTW [43]	-	<ul style="list-style-type: none"> • Doğruluk oranları ve çalışma prensibi üzerine halen araştırmalar yapılmaktadır. • Harici donanım gerektirmektedir.
İmza	% 10 [75]	HMMs [44], FDR [44]	-	<ul style="list-style-type: none"> • Kolay taklit edilebilir.

görülmüştür. Mobil teknolojiler, biyometrik sistemlerin mobil ortamlarda uygulanması taşınabilirlik ve gereğinden fazla alan kaplama gibi dezavantajlarının çözümü olmuştur.

- Mobil cihazlarda kişisel veriler tutulduğundan bu kritik bilgilerin korunması, kötü niyetli kişilerce elde edilmemesi gerekmektedir. Bu kapsamda mobil cihazlarda kullanılan biyometrik teknikler, açığa çıkan güvenlik zafiyetini en aza indirmektedir.

biyometrik özelliklerin kullanım oranları ve veri tabanları ile çalışmaların avantajları ve dezavantajları verilmiştir. Mobil biyometrik sistemler üzerine yapılan literatür çalışması sonucu yaygın olarak kullanılan mobil tekniklerin; parmak izi tanıma [11]-[15], ses tanıma [16]-[22], iris tanıma [23]-[31], yüz tanıma [32]-[36], avuç izi tanıma [37]-[40], diş tanıma [41] [42], yürüyüş tanıma [43] ve imza tanıma [44] olduğu tespit edilmiştir. Biyometrik tekniklerin kullanılabilirliği, uygulama alanları, gerekli cihaz ve ekipmanlar,

istikrarlı çalışma oranı ve doğruluk değerleri birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple kullanıcı için yüksek tanıma performansı, uygulamaya müdahaleci, kolay ve güvenilirliği yüksek olan, pratik uygulama tekniğine sahip biyometrik tekniği bulmak zordur.

Mobil avuç izi tanıma literatürde farklı çalışmalarda farklı algoritmalar ve metotlar kullanılsa da elde edilen başarıların uygulama için belirli seviyeye geldiği, bundan sonraki süreçlerde üzerinde daha fazla durulan konuların başında geleceği değerlendirilmektedir. Özellikle güvenlik alanında farklı çözümler sunabileceği düşünülmektedir.

Literatürde en fazla uygulamanın bulunduğu alanların başında mobil yüz tanıma teknikleri gelmektedir. Kullanılan algoritmaların çoğunlukla standart algoritmalar olduğu ve son dönemlerde ise yapay zeka yaklaşımlarının da başladığı, başarı kriterlerinin gittikçe yükseldiği görülmektedir. Özellikle mevcut teknolojilerde başarılı entegrasyonların başlaması sebebiyle bu konunun daha çok çalışılacağı ve özellikle güvenlik alanında farklı uygulama alanları için pek çok fırsatı üzerinde barındıracağı değerlendirilmektedir.

Literatürde incelenen çalışmalar da göstermektedir ki, iris tanıma sistemleri, yüz tanıma sistemlerini kullanım oranı olarak geçmiş ve en çok tercih edilen biyometrik yöntem haline gelmiştir. Kullanılan teknikler olarak değerlendirildiğinde yüz tanıma tekniklerinde kullanılan yapay zekâ yöntemleri iris tanıma sistemlerinde de kullanılmaktadır. Bunun dışında yüz tanıma tekniklerinde kullanılan algoritmalar ve yöntemler, daha hassas ölçüm parametreleri olarak düzenlenmiş ve iris tanıma sistemlerinde kullanılmıştır. İrisin karakteristik özelliği ve değişim gösterme olasılığının düşük olması sebebiyle yüksek güvenlik seviyesine sahip sistemler üzerinde kullanım alanı bulduğu gözlenmektedir. Özellikle mobil uygulamalarda parmak izi ve yüz tanıma sistemlerinden daha hassas bir yöntem seçilmesi gereken durumlarda, iris tanıma uygulamalarına başvurulmaktadır.

Mobil ses ve imza tanıma sistemlerinde incelenen literatür doğrultusunda, uygulamalarda genellikle aynı yöntemlerin kullanıldığı tespit edilmiştir. Kullanılan bu tekniklerde yapılan küçük parametre değişiklikleri ve kullanılan cihaz kalitesi, bu çalışmalardaki farklı sonuçların elde edilmesindeki en büyük etkidir. Bunun dışında özellikle ses ve imza tanıma sistemlerinin kolay taklit edilebilir olmasından dolayı, bu yöntemin beraberinde kullanılan harici tekniklerle çoklu biyometrik yöntemlerin kullanıldığı uygulamaların geliştirildiği gözlenmektedir. Özellikle bankacılık hizmetlerinde ses tanıma sistemlerinin tercih edildiği gözlenmektedir.

Parmak izi ile kimlik tespiti yöntemi en fazla kullanılan biyometrik yöntemlerden olmasına rağmen, mobil cihazlarda iris tanıma sistemleri ile kıyasla daha düşük kullanım oranına sahiptir. Parmak izi tespiti üzerine doğru sonuçların elde edilebildiği çok sayıda yöntemin olması sebebiyle, son dönemlerde yapılan çalışmalarda doğru tanımlama işlemi dışında hızlı sonuç üretimi, taşınabilir ortamlar kullanarak güvenli giriş çıkış

hizmetleri gibi daha spesifik alanlar üzerinde yoğunlaşılacağı, bu tekniğin özellikle güvenlik konusunda pek çok farklı uygulama alanında yer edindiği görülmektedir.

Diş ve yürüyüş analizi gibi biyometrik teknikler, zamanla değişim göstermeleri ve farklı bireylerdeki benzerlik oranlarının yüksek olabileme ihtimali sebebiyle güvenlik zafiyeti oluşturacak ortamlarda çok fazla kullanılmamaktadır. Fakat literatürde yapılan çalışmalar, bu tarz biyometrik teknikler üzerinde halen yoğun araştırmaların yapılmaya devam ettiğini göstermektedir.

3.1.1. Parmak İzi Tanıma (Fingerprint Recognition)

Biyometrik yöntemlerden parmak izi tanıma, Faulds ve Herschel adında iki İngiliz bilim adamının çalışmalarıyla başlamıştır [72]. Parmak izi büyüme, yaşlanma gibi zamana bağlı faktörlerle değişmeyen ve ayırıcı özelliğini yitirmeyen bir özelliktir. Biyometrik sistemlerle analiz konusunda parmak izi en eski yöntemlerin arasında yer aldığı için, bu yöntem hakkında çok fazla donanımsal altyapı ve yöntem mevcuttur. Biyometrik sistemler içinde erişimi ve uygulanması en kolay yöntemdir ve oldukça geniş kullanım alanına sahiptir [45]. Mobil parmak izi tanıma üzerine yapılmış bazı çalışmalar aşağıdaki Tablo 2'de listelenmektedir.

Parmak izi tanıma sistemlerinin ilk kullanıldığı zamandan beri, bu sistemi tersine zorlamak adına birçok yöneme başvurulmuştur. Bunlardan biri de parmak izini kopyalama adı altında yapılan işlemlerdir. Bunun üzerine parmak izi okumak dışında, vücut ısısı veya parmak üzerindeki damarlarda bulunan oksijen miktarı gibi ayırt edici ve canlı örnekten alındığına dair sınırlayıcı özellikler eklenerek güvenlik seviyesini artırıcı uygulamalar geliştirilmiştir [46].

Bu sistemin avantajları ve dezavantajları [47] :

- Parmak izi bireyden kolay ve maliyetsiz bir biçimde alınabilir.
- Parmak izi de retina gibi ikizlerde bile farklılık gösterir.
- Parmak izi üzerinde değiştirme işlemi oldukça zordur. Bu sebeple taklit ve değiştirme işlemi oldukça zordur.
- Parmak izi ayırt edici belli başlı unsurların farklı kombinasyonlarından oluşur. Bu sebeple kıyaslanacak parmak izinde mevcut olan ayırt edici yapılar belirlenip arama işlemi yapıldığında hızlı sonuç elde edilebilir.
- Örnek alınan parmağın yıpranması sonucu aynı izin tekrar elde edilemeyebilir.
- Kişinin fiziksel değişimi alınan parmak izinin depolanmış örnekle örtüşmemesine sebep verebilir.
- Parmak izinin kalıbının kendisi yerine kullanılmama ihtimali vardır.

Parmak izi tespiti yapılırken farklı yöntemler kullanılabilir. Fakat en yaygın olarak öznelik çıkarımı ve filtreleme yöntemleri kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde öznelik çıkarımı için;

inceltmiş parmak izi görüntüsünden özellik çıkartma, zincir (chain code) kuralı ile özellik çıkartma, bölgesel analiz yaparak özellik çıkartma gibi algoritmaların kullanıldığı görülmüştür [48]. Öznitelik tekniği ile parmak izi tanıma işlemi gerçekleştirilirken, parmak izi okuyucu ile elde edilen veri, bahsettiğimiz öznitelik çıkartma algoritmaları ile işlenir [13]. Elde edilen özellik vektörü veri tabanına kaydedilir ve daha sonra tanıma işleminin gerçekleşmesi sırasında elde edilen yeni parmak izi verisi ile veri tabanındaki özellik vektörü karşılaştırılır [13]. Filtreleme işleminde ise genel olarak gabor filtreleme kullanılmaktadır. Bu filtre sayesinde elde edilen parmak izi verisinden gerekli veri süzölebilmektedir ve özellik vektörü oluşturulmaktadır [49]

3.1.2. Ses Tanıma (Speech Recognition)

Ses analizi 20. yüzyılda Dudley ve Fletcher tarafından ortaya çıkmıştır [73]. Konuşma sürecinde oluşan sesin tanıma işleminde sinyal aralığının önemli olduğunu keşfedildiği için ses tanıma algoritmalarının temeli bu çalışmaya dayanmaktadır. Ses tanıma sistemin çalışma

ve sağlık örgütleri, hassas bilgi korunumu, kişisel bilgi güvenliği, e-ticaret, internet bankacılığı gibi alanlarda kullanılmaktadır [16]

[17] [18] [22]. Mobil ses tanıma üzerine yapılmış bazı çalışmalar aşağıdaki Tablo 3'de listelenmektedir.

Ses tanıma sistemleri telefon üzerinden bir sisteme ulaşım için daha uygun bir yapıdadır. Fakat sesin çok fazla yer kaplaması, hastalık veya başka dış etkenlerden etkilenmesi, parazit oluşturan dış ortamdan gelen gürültüler sistem çalışmasını engelleyici faktörlerdir [50].

Ses tanıma işleminin dezavantajları [51]:

- Kamuya açık alanlarda veya yankılı telefon hatları gibi gürültülü çevre şartlarında ses tanıma sistemleri güvenilir değildir.
- Soğuk algınlığı nedeni ile meydana gelen ses kısımlarına karşı çok hassastır.
- Ses tanıma sistemi, geçiş/erişim hakkına sahip bir kişinin ses kaydı kullanılarak kolayca aldatılabilir.

Çizelge 2. Mobil Parmak İzi Tanıma Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların Yöntem, Metrik Değerleri ve Kullanılan Teknolojilere Göre Sınıflandırılması (Classification of academic studies on mobile fingerprint recognition based on utilized methods, metrics and technologies)

Kaynak	Algoritmalar/ Metotlar	Başarı Kriterleri	Teknolojiler / Donanımlar
[11]	• Parmak izi tanıma sürecinde Luo ve Chen' in metotları	• EER- %4,16 • FNMR- %5,85 • FMR- %1	• Parmak izi yakalamak için AT77C101B • Arm-Core Processor LPC2106 ile parmak izini yakalayıp yakalamadığı kontrolü • Bird Smart Phone E868 mobil cihaz
[12]	• FingerprintUser Interface (FpUI)	• Özellik eşleşimi- 0,03 sn • Görüntü yakalama 2 sn • Elde edilen bu değerler FRR ve FAR değerlerine uygundur.	• IC Card • Pocket-PID
[13]	• Local Binary Pattern (LBP)	• EER- % 0,081	• VGN-UX17LP SONY • QuickCam Logitec Camera • Infra-red Illuminators (NIR) • Charge Coupled Device (CCD)
[14]	• Transient Evoked Otoacoustic Emission (TEOAE) • Autoencoder Neural Network • Continuous wavelet transform (CWT)	• EER- %2,41	-
[15]	• Discrete Fourier Transform (DFT) • OpenCL 1.1 • Android Native Development Kit (NDK)	• Ortalama Zaman-107,07 • Ortalama Güç-1217,13 • Ortalama Enerji-137,27	• Google Nexus 4 Smartphone

prensibinde ayırt edici olarak kullanılan akustik ses verisi dijital formatta veri tabanına kaydedilir. Sistem çalışma sürecinde şifre niteliğinde kullanılan belirli bir kelime grubu, kullanıcıya okutularak kaydedilir. Bu işlem ile kullanıcının ses verisi sisteme öğretilmiş olunur [74]. Kaydedilen ses spektral analizler kullanılarak dijitalleştirilir. Sonrasında ise kontrol işlemini sağlanması gereken durumlarda kullanıcı aynı kelime grubunu okuyarak sisteme erişebilir. Genel olarak ses analizi ile biyometrik tanıma işlemi bu şekilde gerçekleştirilir. Fakat bu işlem sırasında kullanılan teknik ve yöntemler çeşitlilik gösterebilmektedir. Biyometrik ses tanıma yöntemleri göç, vatandaşlık hizmetleri, ordu, uluslararası bankalar

Mobil biyometrik yöntemlerden ses analizine dayalı tanıma işleminde HMMs, MFCC, GMM ve SVM modelleri kullanılmaktadır. Mobil ses tanıma işleminde Kounoudes ve arkadaşlarının [17] kullandığı HMMs (Hidden Markov models- Gizli Markov Modeli) istatistiksel bir tekniktir. Bu teknik ile kişinin nasıl ses ürettiğine dair istatistiksel bir model oluşturulur. Ses tanıma yönteminde, kişi tarafından oluşturulan ses dalgaları, ses vektörlerine dönüştürülmektedir. Bu diziler Markov modeli ile işleme sürecine girmektedir. Markov modeli sonlu bir grafa benzetilebilir. Bu graf modeli her hangi bir konumda iken belirli rastlantısal dağılımlara bağlı olarak konumunu koruyabilir veya farklı konuma geçebilir. Ortaya çıkan bu rastlantısal

durumlar incelenerek tanıma işlemi gerçekleşir. HMMS modelinde durum dizisine erişebilmek için İleri, Viterbi ve Baum-Welch algoritmaları kullanılmaktadır [52].

Chen ve Huang [16], Marcel ve arkadaşları [20], Khoury ve arkadaşlarının [22] kullandığı GMM (Gaussian Mixture Model- Gauss Karışım Modeli) , birden fazla gauss yoğunluk eşitlikleriyle kişiye ait ses bilgisinden elde edilen öznelik vektörünün işlenip, vektörlerinden kişinin akustik niteliklerini temsil eden olasılık yoğunluk fonksiyonunun bulunması prensibine göre çalışmaktadır [53]. GMM sayesinde elde edilen yoğunluk değeri, örnek sayısı artırılarak daha yüksek hassasiyet değerine eriştirilebilir [54].

Katsayıları), algı temelli sesi temsil eden katsayılardır. İnsan kulağı ses frekanslarını doğrusal olmayan bir formda algılar. Yapılan araştırmalar ses frekansının 1 kHz'e kadar doğrusal, daha yüksek frekans değerlerinde ise logaritmik olarak arttığını göstermektedir [56]. İnsan kulağının algılayabildiği frekans değerini Mel Ölçütü sınıflandırmaktadır. Bu ölçüt, Band Geçiren Filtre (band pass filter) olarak kullanılır. Öznelik aşamasında, Ters Fourier Transformasyonu ve frekans uzayından tekrar zaman uzayına döndürülme işlemine tabi tutulur. Bu işlemin sonucu olarak MFCC elde edilir [57].

Çizelge 3. Mobil Sistemlerde Ses Tanıma Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların Yöntem, Metrik Değerleri, Kullanılan Teknolojiler ve Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırılması (Classification of academic studies on mobile speech recognition based on utilized methods, metrics and technologies)

Kaynak	Algoritmalar/ Metotlar	Başarı Kriterleri	Teknolojiler / Donanımlar	Kullanıldığı Alanlar
[16]	<ul style="list-style-type: none"> • SD (Spectral Dimension) • MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) • GMM (Gaussian Mixture Models) 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> • Mobil cihazlarda arayan kişileri seslerinden tanıma
[17]	<ul style="list-style-type: none"> • MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficients) • HMMS (Hidden Markov Models) 	<ul style="list-style-type: none"> • EER- %5 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Çevrimiçi Bankacılık • E-Ticaret • Göçmenlik İşlemleri • Vatandaşlık Hizmetleri • Askeri Hizmetler (Ordu, Donanma) • Sağlık Kuruluşları ve Organizasyonları
[18]	<ul style="list-style-type: none"> • Non-Intrusive and Continuous Authentication (NICA) 	<ul style="list-style-type: none"> • Kullanıcıların %92 daha güvenli oturum erişimi 	<ul style="list-style-type: none"> • Samsung Q45 • Sony Vaio UX1 • HPMini-Note 2133 	<ul style="list-style-type: none"> • Hassas Hizmetler ve Bilgiler • Otomatik Erişim Sistemleri
[19]	<ul style="list-style-type: none"> • Automatic Speech Recognition (ASR) • Support vector machine (SVM) • Minimum classification error (MCE) training 	<ul style="list-style-type: none"> • EER -%0,31 	<ul style="list-style-type: none"> • iPAQ handheld 	<ul style="list-style-type: none"> • Kişisel Bilgi Güvenliği
[20]	<ul style="list-style-type: none"> • Local Binary Patterns • MFCC • GMM • UBM(Universal Background Model) 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Nokia N900 	-
[21]	<ul style="list-style-type: none"> • Universal Background Model • Probabilistic Linear Discriminant Analysis • LBPs (Local Binary Patterns) • MCT (Modified Census Transform) 	<ul style="list-style-type: none"> • EER- %18 bayan • %15,1 bayan 	<ul style="list-style-type: none"> • Nokia N93i 	-
[22]	<ul style="list-style-type: none"> • Gaussian Mixture Model 	<ul style="list-style-type: none"> • EER-%6,3 bayan • %1,9 bayan 	-	<ul style="list-style-type: none"> • Kişisel Bilgi Güvenliği

Hazen ve arkadaşlarının [19] uyguladığı SVM (Support Vector Machine- Destek Vektör Makinesi) modelinde pozitif ve negatif örnekler mevcuttur. Bilinen bu örneklerle uzay ikiye bölünür ve en iyi hiper-düzlem bulunmaya çalışılır. Bilinen bu pozitif ve negatif örnekler arasındaki mesafeyi en uzak yapan destek vektörleri ile sınıflandırma işlemi yapılır. SVM önceden var olan örneklere göre, yeni durumunun belirli bir sınıfta olmasını belirleme sürecidir [55].

Kounoudes ve arkadaşları [17] ile Marcel ve arkadaşlarının [20] kullandıkları MFCC (Mel Frequency Cepstral Coefficient-Mel-Frequency Cepstrum

3.1.3. İris Tanıma (Iris Recognition)

Gözde bulunan iris tabakası insandan insana farklılık gösteren bir yapıdır. İris kişinin hayatı boyunca değişmeden kalan karakteristik bir özellik olduğundan biyometrik sistemlerde ayırt edici bir özellik olarak kullanılmaktadır.1985 yılında Flom ve Safir tüm irislerin eşsiz olduğunu ispatlayarak 1987 iris tanıma ile ilgili patent almışlardır [58]. Bu yöntem gözün rengini veren kısım ve kaslardan oluşan tabakanın görüntüsünün kopyalanarak bir takım görüntü işleme tekniklerinin uygulanması ilkesi ile çalışır. Alınan görüntüden tanıma işlemi doğru gerçekleştirebilecek

sayıda örnek referans noktası alınır ve depolanır. Bu işlem sırasında yüksek çözünürlük değerine sahip sensörler iris tabakası üzerindeki farklılıkları taramaya yönelik çalışır. Sonraki işlemde alınan örneklerle mevcut olarak taranan iris karşılaştırma işlemine sokulur [59].

Mobil biyometrik sistemlerde kullanılan iris tanıma yöntemi en yüksek başarıyı elde etmektedir. İris tanıma yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıda belirtilmiştir [58] [59]. Bunlar:

- İris vücutta zor zarar görebilecek bir organdır.
- Yüz, retina vb. tanıma sistemlerinde tek yumurta ikizlerinde fark ayırt edilemezken iris tabakası bu konuda ayrımı sağlayabilecek bir özelliktir. Yani iris dokusu tamamen kişiye özel bir yapıdadır.
- Doğumdan sonra oluşan iris yapısı dıştan bir etkiye maruz kalmadığı sürece değişiklik göstermez.

- Yüksek çözünürlüklü iris resimleri ve üzerine iris deseni basılmış lensler ile var olan sistemleri aşmak mümkün olabilir.
- Bu sistemlerin işleyişi sırasında göz her daim aynı açı ile bakmayacaktır. Veri depolama sürecindeki bakış yönündeki açı değişikliği sebebiyle tanıma işlemi sırasında sorun yaşanabilir. Bu da sistemin dezavantajı olarak görülmektedir.
- İris tanıma işleminde parametrelerin ölçümü için örnek alınırken direkt olarak temas sağlanamaz. Fiziksel temasın sağlanamaması sebebiyle alınan örneklerde yanlışlık olabilir.

İris taramada karşılaştırma için kullanılan referans noktası parmak izi sistemlerindeki karşılaştırma

noktasına göre çok fazla sayıdadır. Bu da ölçüm

Çizelge 4. Mobil Sistemlerde İris Tanıma Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların Yöntem, Metrik Değerleri, Kullanılan Teknolojiler ve Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırılması (Classification of academic studies on mobile iris recognition based on utilized methods, metrics and technologies)

Kaynak	Algoritmalar/ Metotlar	Başarı Kriterleri	Teknolojiler / Donanım	Kullanıldığı Alanlar
[23]	• BHC encoder Fuzzy Vault Encoder	• Gözlüksüz ve lenssiz %99,5 • Gözlüklü ve lensli %99 • Genel ortalama %98	• Panasonic BM ET100US iris tanıma cihazı • Samsung SPH-2300	-
[24]	• Kendi yöntemlerini geliştirmişler ve mevcut yöntemlerle kıyaslamışlar.	-	• IR-LED (Infrared Light Emitting Diode) • Samsung SPH-2300	• Banka İşlem Hizmeti • Telefon Güvenliği
[25]	• Circular edge detection • Hough Transform • Specular reflection	-	• Samsung SPH-s2300	• Yüksek güvenlik girişi gerektiren sistemler • Bankacılık işlemleri • Güvenli oturma oluşturma
[26]	• AGF (Adaptive Gabor Filter) • IR Pass Filter and Illuminator • ICA • HD (Hamming Distance)	• EER-%0,14	• Xenon Flash Lamp • SPH-S2300 Samsung	• Erişim Kontrolü • Banka İşlem Hizmeti
[27]	• SRs • Adabost Eye Dedector • IR Pass Filter and Illuminator	• EER-%0,05	• Quickcam Pro-4000 CCD camera • AlphaCam-I CMOS camera • SPH-S2300 Samsung	• Trafik Kontrol ve Takip Hizmeti • Mobil Bankacılık Uygulamaları
[28]	• Local Binary Patterns • Linear SVM • Gabor Filter	-	• Asus Transformer Pad TF300T (andriod) • Samsung Galaxy S4 • iPhone 5	• e-Ticaret • e-Sağlık • Çevrimiçi Bankacılık
[29]	• Circular Hough Transform • Gabor Filter	• EER-% 3,5	-	• e-Alışveriş • Güvenli Web Oturumu
[30]	• IR Illuminator ve IR Pass Filter • Haar Detection • Viola Jones Algorithm • CSUM • Java Native Interface (JNI)	• FAR-%0,15	• Samsung Galaxy Tab 2.0	• Ordu Güvenliği • Güvenli Erişim • Sağlık Kayıtları • Bankacılık İşlemleri
[31]	• Gaussian Filter • Canny Filter	-	• Samsung Galaxy Tablet • iPhone 5 • Samsung Galaxy S4	-

- Tanıma işlemi gerçekleşmesi için alınan örnek resim yüksek görüntü kalitesine sahip ve iyi çözünürlük değerine sahip olmalıdır.

hassasiyetini arttırmaktadır. Bunun dışında irisin bireyde eşsiz oluşu sebebiyle, güvenlik kriteri bakımından hassas olan çevrimiçi bankacılık işlemleri,

telefon güvenliği, uzaktan erişim kontrolü, güvenli oturma oluşturma, yüksek güvenlik girişi gerektiren sistemler, çevrimiçi sağlık sistemleri, çevrimiçi alışveriş, askeri güvenlik ve sağlık kayıtları gibi alanlarda kullanım yeri elde etmektedir [24] [27] [28] [30]. Mobil iris tanıma üzerine yapılmış çalışmalar Tablo 4’de listelenmektedir.

Mobil cihazlar üzerinde uygulanan iris tanıma sistemleri genel olarak aynı mantıkla çalışmaktadır. İlk önce mobil cihazın kamerası veya cihaz kamerası yetersiz çözünürlük kalitesine sahipse harici bir görüntü yakalama ekipmanı kullanılarak, gözün iris kısmına ait siyah beyaz formatta bir resim çekilir. Bu resim kızılötesi aydınlatıcısı (IR Illuminator) ve kızılötesi filtreleme (IR Pass Filter) teknikleri ile elde edilir [26] [30]. İşlenen fotoğrafta iris haricindeki kısımlar, veritabanında aşırı yüklenme olmaması adına çıkartılarak gerekli kısımların kayıt işlemi gerçekleşir. İris tabakasına ait resimden DNA koduna benzeyen bir kod dizisi üretilir ve üretilen bu kod veritabanında saklanır.

İris tanıma işlemi kaydedilen resim analizine dayalı bir yöntem olması sebebiyle filtreleme, yapay sinir ağları ve istatistiksel algoritmaların birçoğu ile beraber kullanılabilir. Fakat kullanılan bu tekniklerden farklı çalışma mekanizmasına sahip Haar-Benzeri Öznitelik Çıkarımı (Haar-like Features) iris tanıma uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [27] [30]. Haar benzeri öznitelik çıkarımı, çalışmanın yüz tanıma yöntemleri kısmında ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

3.1.4. Yüz Tanıma (Face Recognition)

Biyometrik sistemlerin uygulama alanlarına bakarak, en yaygın biyometrik tekniğin parmak izi gösterilmesine karşın, mobil cihazlarda uygulanabilirliği açısından

parmak izinin kullanımı için alternatif özel sensörlü donanımlar gerekmektedir. Bu sebeple yüz tanıma sistemleri neredeyse her mobil cihazda kamera bulunması sebebiyle, mobil ortamlarda daha yaygın olarak kullanılan sistemler haline dönüşmüştür. Mobil yüz tanıma üzerine yapılmış çalışmalar Tablo 5’de listelenmektedir.

Yüz tanıma probleminde iki temel yöntem bulunmaktadır. Birinci yöntem temel bileşen analizi olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, bir yüzü en iyi tanımlayan en yakın bilgi tüm yüz görüntüsünden elde edilir [62]. İkinci yöntem bir yüzün gözler, burun, ağız ve çene gibi temel kısımlarından öz nitelik vektörleri çıkarmaya dayalıdır [61]. Bu yöntemde biçim değiştirebilen şablonlar ve geniş matematik yardımıyla bir yüzün temel kısımlarından önemli bilgiler toplanır ve sonra bir öz nitelik vektörüne dönüştürülür [61]. Yüz tanıma işleminde kullanılan en çok bilinen algoritmalar aşağıda sıralanmıştır [60] [61] [62]:

- Temel Bileşenler Analizi (Principal Component Analysis)
- Bağımsız Bileşenler Analizi (Independent Component Analysis)
- Doğrusal Diskriminant Analizi (Linear Discriminant Analysis)
- Evrimsel Takip (Evolutionary Pursuit)
- Elastik Demet Grafik İşleme (Elastic Bunch Graph Matching)
- Kernel Yöntemi (Kernel Methods)
- İz Dönüşümü (Trace Transform)
- Aktif Görünüm Modeli (Active Appearance Model)
- 3 Boyutlu Model Dönüştürme (3-D Morphable)

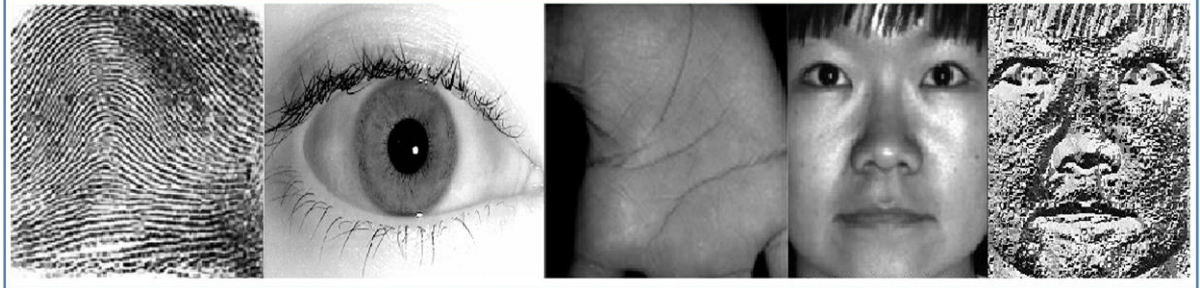
Çizelge 5. Mobil Yüz Tanıma Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların Yöntem, Metrik Değerleri, Kullanılan Teknolojiler ve Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırılması (Classification of academic studies on mobile face recognition based on utilized methods, metrics and technologies)

Kaynak	Algoritmalar/ Methodlar	Başarı Kriterleri	Teknolojiler / Donanımlar	Kullanıldığı Alanlar
[32]	• Hidden Markov Models • Score fusion • Fisher Discriminant Ratio (FDR)	• EER- Equal Error Rate %4	• NIR (NearInfra-Red) light	• e-Ticaret • Erişim Kontrolü
[33]	• OKAO Vision	• Threshold- 0,2	• Symbian OS • Embedded Linux • ITRON • BREW	• Borç Ödeme İşlemleri • Kişisel Bilgi Güvenliği
[20]	• Local Binary Patterns • MFCC • GMM • UBM (Universal Background Model)	-	• Nokia N900 mobile device linux işletim sistemli	-
[34]	• KNN • Fisher Classifier • Gaussian Classifier	• %5,09	• Hp iPAQ rw6100	-
[35]	• SVM • Ada Boosting	• Modül işlemi tamamlama süresi- 1,4 sn • Threshold- 0,28	• Symbian OS 60 Series • Nokia 6680	• Telefon Güvenliği
[36]	• Haarlike Features • AdaBoost • Local Binary Patterns	-	• Nokia N90	• Çevrimiçi Bankacılık
[30]	• IR Illuminator ve IR Pass Filter • Haar Detection • Viola Jones Algorithm • CSUM • Java Native Interface (JNI)	• FAR-%0,01	• Samsung Galaxy Tab 2,0	• Askeri Hizmetler (ordu) • Erişim Kontrolü • Sağlık Kayıtları • Bankacılık İşlemleri

Model)

- 3 boyutlu yüz eşleştirme (3-D Face Recognition)
- Hidden Markov Model (HMM)

Yüz tanıma sürecinde yapılacak ilk işlem yüze ait resimlerden ayırt edici çeşitli özelliklerin ayrılması



Şekil 2. Parmak İzi, İris, Avuç İzi ve Yüz Tanıma İşlemlerinde Elde Edilen Karakteristik Veriler (Characteristic Data Obtained in Face, Fingerprint, Iris and Palmprint Recognition Process)

işlemidir. Bu işlemin yapılma sebebi aynı kişiye ait yüz resimlerinin özelliklerinin benzer, farklı kişilerin yüzüne ait resimlerin ise farklı özelliklere sahip olmasıdır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda yer alan yüz tanıma tekniklerini 2 gruba ayırmak mümkündür. Bu gruplar [61]:

- Geometrik özellik tabanlı, şablon eşlemeli, elastik demet grafi eşleme, yapısal eşleme, gizli Markov model ve dalgacık dönüşüm tabanlı tekniklerin gruplandırıldığı Özellik Kaynaklı Yüz Tanıma teknikleridir.
- Özyüz yaklaşımı ile yüz tanıma, Fisher yüz yaklaşımı ile yüz tanıma ve yapay sinir ağı tabanlı yöntemler Görünüm Tabanlı Yüz Tanıma sistemleridir.

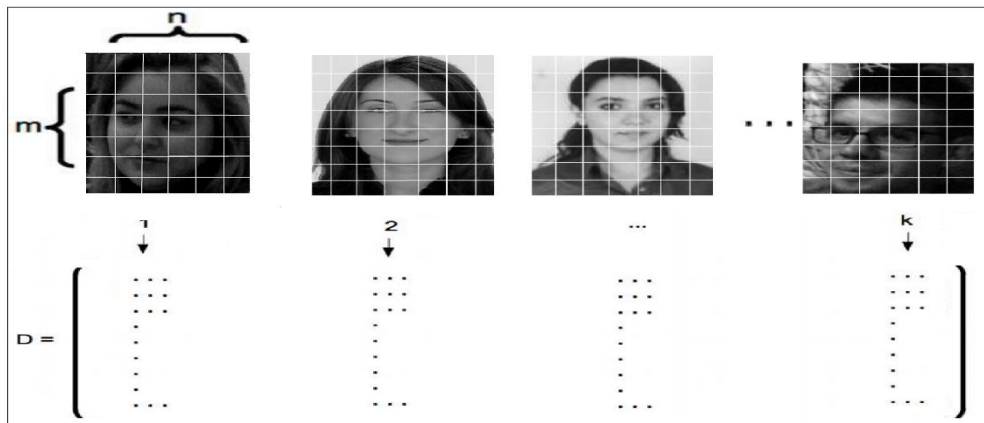
Mobil yüz tanıma teknikleri arasında en çok kullanılan Haar benzeri özellikler ve özyüzler yöntemleridir. Kameradan alınan görüntülerde yalnızca bireyin yüzü olmayacaktır. Tanıma işlemi için gereken yüz resmi

parçalara bölünür. Elde edilen bu küçük dikdörtgen parçalarda piksel yoğunluklarını hesaplanır, komşu bölgelerle arasındaki farklar hesaplanır. Bu sayede görüntüde gölgede kalan kısımlar hesaplanır. Buna göre gözlerin veya burnun kenar kısımları gölgelenmeden dolayı kolay kalacaktır ve bu bölgeler tespit edilecektir

[63].

Mobil cihazlarda görünüm tabanlı yüz tanıma tekniklerinden en sık kullanılanı ise özyüzler yöntemidir [64]. Yüz tanımda ayırt edebilme işlemi yapabilmek için yüz üzerinde belirleyici noktalar seçilmektedir. Bu noktalar uygulama geliştirici tarafından seçilebilir veya özyüzler yöntemi ile temel bileşenler analizi kullanılarak uygulamanın kendisi bu noktaları belirleyebilir. Her bireyin gri renkte, aynı boy ve en oranına sahip görüntüleri vektörlere dönüştürülür. Bireydeki belirleyici olarak düşünülen karakteristik özellikler dizilere aktarılmaktadır. Birden fazla bireyin mevcut olduğu durumda her birey birer sütunlara karakteristik özellikler ise satırlara yerleşecek biçimde bir matris oluşturulmaktadır. Şekil 2'de bu matrise bir örnek gösterilmiştir.

Yüz tanıma sistemleri uygulama alanı, doğruluk değeri ve uygulanışı yönüyle değerlendirildiğinde avantaj ve dezavantajları mevcuttur [65]. Bunlar:



Şekil 3. Özyüzler Matrisi Oluşturumu (Creating an EigenFaces Matrix)

incelendiğinde, resmin burun, göz, kaş, ağız gibi bölümleri renk olarak yüzün geri kalanına göre farklılık göstermektedir. Viola ve Jones [32] tarafından geliştirilen Haar benzeri özellik çıkarım yöntemiyle yüzün bu bölgeleri tespit edilir. Yüz resmi çok küçük alt

- İnsan yüzü her bireyde farklıdır. Bu sebeple tanıma sistemlerinde kullanılan bir özelliktir.
- Parmak izi gibi kolay taklit edilememektir.

- Tanıma sistemini işletebilmek için alınan parametreler basit bir kamera kullanılarak elde edilebilmektedir.
- Uygulanması, kullanılan algoritmalar ve analiz yöntemleri diğer yöntemlere göre oldukça zordur.
- Alınan görüntü örnekleri ortam koşullarından çok fazla etkilenmektedir.
- Yüzün tamamı her kontrol işleminde karşılaştırılmaz. Alınan belirli parametreler doğrultusunda kontrole tabi tutulur. Bu sebeple bireyin yüzündeki mimik değişikliği, yara, iz veya estetik sebebiyle yanlış sonuçlar elde edilebilir.

3.1.5. Avuç İzi Tanıma (Palm Print Recognition)

Mobil biyometrik tanıma yöntemlerinde avuç izi kullanımı çok yaygın olmamakla birlikte kullanılmaktadır. Bunun sebebi parmak izi tanıma sistemlerinde de olduğu gibi mobil cihaza harici bir donanım eklenmeden bu tanıma işleminin gerçekleşmemesidir. Mobil cihaza entegre edilen donanımlar sayesinde avuç içine ait görüntü mobil cihaza aktarılır ve görüntü işleme teknikleri ile elde edilen veri sayısal formata dönüştürülür [66].

Avuç izi tanınması, çalışma prensibi olarak parmak izi tanıma işlemi ile aynı basamaklara sahiptir. Bu iki

doğrultusunda tanıma işlemi gerçekleşmektedir. Öznitelik tabanlı yaklaşımda ise avuç içi bölgesinde tanıma için kullanılacak çalışma bölgesi verisi çıkartılarak, tanıma işlemi bu alan üzerinden yapılmaktadır [38]. Mobil avuç izi tanıma üzerine yapılmış çalışmalar Tablo 6'da listelenmektedir.

Avuç izi tanıma sistemlerinde yapay sinir ağları, KNN ve Dalgacık Analizi en sık kullanılan tekniklerdir [39],[40],[67].

Son olarak Şekil 1'de verilen fiziksel ve davranışsal özelliklerle ilgili literatürde yeteri kadar kaynak bulunmadığından burada yorumlanamamıştır.

3.2. Sektörel Çalışmalar

3.2.1. MOBIO

MOBIO mobil biyometri konsepti ile yeni mobil hizmetler geliştirmektedir. Aydınlanmaya karşı dayanıklı yüz tanıma sistemi, gürültüye dayanıklı ses tanıma sistemi, uygulama modeli adaptasyon ve ölçeklenebilirlik, çoklu biyometrik tanıma gibi bilimsel ve teknik hedefler alanında hizmet vermektedir. MOBIO mobil cihazlar dâhil olmak üzere birçok yenilikçi yönleri ele almaktadır. Bu alanlar [68]:

- Geliştirilen yeni istatistiksel yöntemler sayesinde,

Çizelge 6. Mobil Sstemlerde Avuç İzi Tanıma Üzerine Yapılan Akademik Çalışmaların Yöntem, Metrik Değerleri, Kullanılan Teknolojiler ve Uygulama Alanlarına Göre Sınıflandırılması (Classification of academic studies on mobile palmprint recognition based on utilized methods,metrics and technologies)

Kaynak	Algoritmalar/ Metotlar	Başarı Kriterleri	Teknolojiler / Donanımlar	Kullanıldığı Alanlar
[37]	• Gaussian Filtreleme	• EER- %2,04	• Motorola Droid X	-
[38]	• ROI (region of interest)	• Threshold seviyesi 0,46 • ROI çıkarımı 0,433 sn • Kodun çalışması 0,116 sn • Hızlandırılmış eşleştirme 5msn	• I- Phone 4	-
[39]	• Probablistic Hough Transform • Speeded Up Robust Features • Hough Transform • Eigenpalms • KNN	• FAR= %3,4 • FRR= %1,7	• Canon • HTC • Motorola	• Uzaktan Erişim • Doğrulama Sistemi
[40]	• Orthogonal Line Ordinal Feature • 2D Gaussian Filter	• Fusion Code EER=% 0,21 • Competitive Code EER=% 0,06 • Ordinal Code EER=% 0,07 • Sum Difference Ordinal Code EER=% 0,07	• HP iPAQ • HP rx3715	• Mobil Bankacılık • Mobil Ticaret • Mobil Ofis Sistemleri • Mobil Eğlence

karakteristik özellik de uygulandığı bölgede yer alan çizgilerin analizine dayanarak çalışmaktadır. Parmak izinde de olduğu gibi avuç içi izi tanınması ve doğrulanması ayırt edici özelliğe sahip öznitelik noktalarının tespitine dayanmaktadır. Fakat avuç içinde yer alan çizgiler daha kalın ve belirgin olduklarından parmak izindeki gibi yüksek çözünürlüğe sahip bir görüntüye ihtiyaç olmadan da tespit edilebilmektedir [66].

Avuç izi tanıma tekniklerinde öznitelik ve işlenmemiş görüntü tabanlı olmak üzere iki farklı yaklaşım mevcuttur. İşlenmemiş görüntüye dayalı analizde avuç izi görüntüsünden direkt olarak elde edilen veriler

ileri düzey teknolojiler bi-modal olarak adlandırılan çoklu biyometrik yöntemlerle birleştirmeyi amaçlamaktadır.

- Biyometrik tanıma modellerinin zamanla tanıma oranlarındaki azalmayı giderebilmek için modellerin yeni versiyonlara uyarlanmasını sağlamaktadır.
- Kullanılan model üzerinde teknik incelemeler yaparak sistem performansı ve işlem gücünü analiz ederek kullanım alanlarına göre biyometrik tanıma sistemlerini düzenlemektedir.
- Geliştirilen teknolojileri değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla araştırma topluluklarının

ortak değerlendirme araçları kullanarak sistemin çalışması üzerine sonuçlar elde edebilmektedir.

3.2.2. Biyometrik Değerlendirme ve Test Projesi (Biometrics Evaluation and Testing - BEAT)

BEAT projesi, Avrupa Birliği tarafından desteklenen teknolojik gelişmeler ve sonuçlarının sergilenmesi üzerine yapılmış bir çalışmadır. BEAT'in amacı biyometrik teknolojiler için standart operasyonel değerlendirme çerçeveleri önermektir [69]. Buna ulaşmak amacıyla [69];

- Biyometrik sistemlerin geçerli kıstaslarla değerlendirilmesi için şeffaf ve bağımsız bir şekilde çevrimiçi ve açık bir platform geliştirilmekte,
- Zafiyet analizi için protokoller ve araçlar tasarlanmakta,
- Genel kriter değerlendirmeleri için standardizasyon belgeleri hazırlanmaktadır.

Bu projede üç çıktının olması beklenmektedir. İlk olarak biyometrik sistemlerin güvenilirliği ölçülebilir olacak ve bu durum performansta anlamlı bir artış görülmesini sağlayacaktır. Bu alanda yapılan araştırmalar sonucu elde edilen veriler ve geliştirilen teknikler, sektör çalışmalarına transfer edilerek birbirleriyle uyum içerisinde çalışan bir çatı oluşturmak amaçlanmıştır. Sonuçlar standartlar üzerinde etki göstermeye başladıkça karar mercileri ve yetkili kişiler biyometri alanındaki gelişmeler konusunda bilgilendirilecektir [69].

3.2.3. OKAO

Yüz yüze iletişimde görsel bilgi önemli bir rol oynamaktadır. Geliştirilen cihazda tanıma işlemi, insan algılaması seviyesindeki kadar hassas olduğu takdirde tanıma süreci çok rahat olacaktır. Japoncada yüz görme anlamına gelen "OKAO" biyometrik sistem geliştirme ortamıdır. OKAO biyometrik tanıma sistemlerini teknolojik gelişmelerle birleştirip bir üst seviyeye taşıyarak akıllı sistemler tasarlamıştır. Güvenlik bakımından hassas olan merkezlerde giriş çıkış işlemleri için ta tasarlanmış özel tanıma hizmetleri, hasta takip sistemleri, uzaktan takip sistemleri için elektronik bileşenler üretimini sağlamaktadır [70].

4. SONUÇ VE ÇIKARIMLAR (RESULTS AND CONCLUSIONS)

Bu çalışma; mobil cihazlarla birlikte çalışabilen biyometrik sistemler, kullanılan teknikler ve uygulama alanları üzerine odaklanmıştır. Mobil cihazlar, insan tanımlama ve kimlik doğrulama gibi geleneksel biyometrik arenalarda başarılı çözümler sunmaktadır. Yapılan çalışmada biyometrik sistemler ve mobil ortamda kullanılan biyometrik yöntemler, uygulama için teknik ve sistem gereksinimleri incelenmiştir.

Literatür çalışması esnasında, yapılan uygulamalar incelendiğinde:

- Bu makale kapsamında incelenen literatürde, mobil cihazlarda harici donanım entegrasyonu olmadan

çalışabilen, mobil cihaz kamerası aracılığı ile elde edilen görüntüden tanıma işlemi yapılan yüz ve iris tanıma tekniklerinin en yüksek kullanım oranlarına sahip oldukları görülmüştür.

- İncelenen çalışmalarda, geliştirilen mobil biyometrik tanıma sistemlerinde doğrulama işlemi gerçekleştirilebilmek için birden fazla biyometrik karakteristik özelliğin bir arada kullanıldığı görülmüştür.
- Tercih edilme oranına bakarak değerlendirildiğinde, parmak izine dayalı tanıma sistemleri biyometrik yöntemler içinde en yaygın kullanım alanına sahip olmasına rağmen, mobil cihazlarda bu yöntemin, harici donanım gerektirdiği için geniş kullanım alanına sahip olmadığı yapılan literatür çalışması sonucu tespit edilmiştir.
- Mobil cihazlarda uygulama performansı, cihaz kapasitesi, mobil uygulama geliştirme süreci, hız dezavantaj olarak görülmektedir. Fakat bunun yanı sıra yerleşik çalışan, büyük ve taşınabilir özelliği olmayan sistemlerle kıyaslandığında, bahsettiğimiz dezavantajlar göz ardı edilebilmektedir.
- Mobil cihazlarda kişisel birçok bilginin yer aldığı, bu bilgilerin özel olduğu ve korunması gerektiği düşünülen bir ortamda, güvenlik katsayısını artıracak düzeydeki uygulamaların talep göreceği düşünülmektedir.
- Güvenlik düzeyini arttırmak isteyen kurumsal kullanıcıların, mobil platform üzerinde uygulanan biyometrik yöntemleri tercih etmeleri yeni fırsatları da beraberinde getirmektedir.

Bugüne kadar yapılan uygulamaların incelenmesi sonucu belirlenen problemler ve bu problemlere getirilen çözüm önerileri tespit edilmiştir [15]-[40]. Bu başlıklar:

- Mobil cihazlarda elde edilen düşük kalitedeki görüntü sebebiyle, yüksek hassasiyet gerektiren iris, retina gibi ayırt ediciliği yüksek tanıma sistemleri için kullanım güçleşmiştir. Bu sebeple görüntü kalitesini arttırmak amacıyla harici kameralar entegre edilerek elde edilen görüntü kalitesi artırılmıştır. Günümüz telefonlarında bu hususun azaldığı değerlendirilmektedir.
- Mobil cihazların karmaşık biyometrik sistem altyapılarına kıyasla sahip olduğu sınırlı işlem gücü ve sınırlı hafızası sebebiyle, uygulama sürecindeki performans düşüklüğünü gidermek için, karmaşık işlemler mobil cihazlar yerine sonucu görevi üstlenen bilgisayarlar üzerinde yapılarak, mobil cihazlar sadece "uzaktan kontrol" işlevini yerine getirmiştir. Bu yöntemle mobil cihaz üzerine düşen yük miktarı azaltılarak performans kriterinde artış elde edilmiştir. 3G'nin yanında 4G'nde bugünlerde hizmete girmeye başlayacağı değerlendirildiğinde, performansın daha da artacağı düşünülmektedir.
- Mobil cihazlarda görülen bir başka sorun ise yöntem çeşitliliğidir. Mobil cihazlarda kamera ile tanıma

işlemi yapan yüz, iris, retina vb. biyometrik tanıma işlemlerini sağlayacak uygulamalar geliştirilebilirken parmak izi gibi yöntemler harici donanımlar takılmadan gerçekleştirilebilir. Bu sebeple biyometrik sisteme uygun donanımsal eklemeler yaparak mobil cihazlarda kullanılan farklı biyometrik tekniklerin geliştirilebileceği düşünülmektedir.

- Mobil ortamlarda yaşanan sıkıntılar haricinde problemlerle de karşılaşmaktadır. Biyometrik sistemlerde kullanılan karakteristik özelliklerle alakalı sorunlar mevcuttur. El damar ağı, ses gibi tanıma sistemleri aldatılması kolay yöntemler olduğundan güvenlik tehdidi oluşturur. Bu sebeple bu karakteristik özellikler çok sayıda kişinin kullanacağı alanlarda kullanılmamaktadır. Bunun dışında iris, retina gibi karakteristik özelliklerde kullanılan görüntü yüksek çözünürlüğe sahip olmadığından etkin sonuç veremeyebilir ya da parmak izi kopyalama veya işlenmiş lens yöntemleri ile uygulamalar yanıtlanabileceğinden bunlara çözümler geliştirilmektedir.

Mobil cihazlarda görüntü veya video işleme işlemleri yapılabilmektedir. Fakat bu cihazların, karmaşık biyometrik sistem altyapılarına kıyasla sahip olduğu sınırlı işlem gücü ve sınırlı hafızası sebebiyle, uygulama sürecindeki performans düşüklüğü görülmektedir [38].

Bu tez çalışmasında yapılan tespitler, sunulan tablolar, tartışılan hususlar, önerilen konular genel olarak değerlendirildiğinde, biyometrik sistemlerin mobil cihazlar üzerinde son yıllarda daha çok kullanılmaya başlandığı, bundan sonraki süreçlerde uygulamaların daha da artacağı görülmektedir.

Yapılan bu çalışmanın bundan sonra, mobil ortamlarda yapılacak olan çalışmaların artışına ve yeni yöntemlerin geliştirilmesine katkıları sağlayacağı değerlendirilmektedir. Tespit edilen bu başlıklar, geliştirilecek uygulamalarda tercih edilmesi, dikkat edilmesi ve iyileştirilmesi gereken unsurları ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] İnternet: Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı (2015). Mobil telefon abone sayısı 72 milyona yaklaştı. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.udhb.gov.tr%2Fhaber-64-mobil-telefon-abone-sayisi-72-milyonayaklasti.html&date=2015-03-21>, Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [2] Clarke, N., Furnell, S. Authentication of users on mobile telephones - A survey of attitudes and practices. *Computers & Security*, 24(7): 519-527, (2005).
- [3] Çınar S. Mobil Android Ortamında Parmak İzi Tanıma ve Kimlik Doğrulama Sisteminin Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13, (2014).
- [4] Khan, S., Akbar, M., Shahzad, F., Farooq, M., Khan, Z. Secure biometric template generation for multi-factor authentication. *Pattern Recognition*, 48(2): 458-472, (2015).
- [5] Luis-Garcia, R., Alberola-Lopez, C., Aghzout, O., Ruiz-Alzola, J. Biometric identification systems. *Signal Processing*, 83(2): 2539-2557, (2003).
- [6] Khan, S. H., Akbar, M. A., Shahzad, F., Farooq, M., Khan, Z. Secure biometric template generation for multi-factor authentication. *Pattern Recognition*, 48(2): 458-472, (2015).
- [7] Filiz S. Siber Güvenlikte Biyometrik Sistemler ve Yüz Tanıma, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Ankara, 15-17, (2012).
- [8] İnternet: Kakıcı, A., Biyometrik Tanıma Sistemleri. URL: <http://www.ahmetkakici.com/genel/biyometrik-tanima-sistemleri/> Son Erişim Tarihi: 03.09.2014.
- [9] Trewin, S., Swart, C., Koved, L., Martino, J., Singh, K., Ben-David, S. (2012). Biometric Authentication on a Mobile Device: A Study of User Effort, Error and Task Disruption. *Computing Classification System*, 1-10.
- [10] İnternet: Yılmaz A. Biyometrik Tanıma Sistemleri. URL: <http://www.guvenlikdanismanlik.com/biyometrik-tanimasistemleri.htm>. Son Erişim Tarihi: 15.09.2014.
- [11] Chen, X., Tian, J., Su, Q., Yang, X., Wang, F. A Secured Mobile Phone Based on Embedded Fingerprint Recognition Systems. *Intelligence and Security Informatics*, 3495: 549-553, (2005).
- [12] Uchida, K. Fingerprint-based user-friendly interface and pocket-PID for mobile authentication. *Pattern Recognition*, 4: 205-209, (2000).
- [13] Lee, H. C., Park, K. R., Kang, B. J., Park, S. J. A New Mobile Multimodal Biometric Device Integrating Finger Vein and Fingerprint Recognition. *Ubiquitous Information Technologies & Applications*, 20-22, (2009).
- [14] Liu, Y., Edward, S., Roger, Sr. Human acoustic fingerprints: A novel biometric modality for mobile security. *Acoustics, Speech and Signal Processing*, 3784-3788, (2014).
- [15] Qi, Z., Wen, W., Meng, W., Zhang, Y., Shi, L. An energy efficient OpenCL implementation of a fingerprint verification system on heterogeneous mobile device. *Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications*, 1-8, (2014).
- [16] Chen, W., Huang, J. Speaker Recognition Using Spectral Dimension Features. *Computing in the Global Information Technology*, 132-137, (2009).
- [17] Kounoudes, A., Kekatos, V. ; Mavromoustakos, S. Voice Biometric Authentication for Enhancing Internet Service Security. *Information and Communication Technologies*, 1: 1020-1025, (2006).
- [18] Clarke, N., Karatzouni, S., Furnell, S. Flexible and Transparent User Authentication for Mobile Devices. *Computer Communication Networks*, 1-12, (2009).
- [19] Hazen, T. J., Weinstein, E., Park, A. Towards Robust Person Recognition On Handheld Devices Using Face and Speaker Identification Technologies. *Pattern Recognition*, 289-292, (2003).
- [20] İnternet: Marcel, S., McCool, C., Atanasoaei, C., Tarsetti, F., Pesan, J., Matejka, P., Cernocky, J. (2010). MOBIO: Mobile Biometric Face and Speaker Authentication. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fvisidon.fi%2Fpublications%2Fmobiodemo.pdf&date=2015-03-21>. Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [21] McCool, C., Marcel, S., Hadid, A., Pietikainen, M., Matejka, P., Cernocky, J., Poh, N., Kittler, J., Larcher, A., Levy, C., Matrouf, D., Bonastre, J.-F., Tresadern, P., Cootes, T. Bi-Modal Person Recognition on a Mobile

- Phone: Using Mobile Phone Data. *Multimedia and Expo Workshops*, 635 – 640, (2012).
- [22] Khoury, E., Shafey, L., McCool, C., Günther, M., Marcel, S. Bi-modal biometric authentication on mobile phones in challenging conditions. *Image and Vision Computing*, 32(12): 1147–1160, (2014).
- [23] Kang, J. Mobile iris recognition systems: An emerging biometric technology. *Procedia Computer Science*, 1(1): 475-484, (2010).
- [24] Cho, D. H., Park, K. R., Rhee, D. W. Real-time iris localization for iris recognition in cellular phone. *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing*, 254-259, (2005).
- [25] Cho, D. H., Park, K. R., Rhee, D. W., Kim, Y., Yang, J. Pupil and Iris Localization for Iris Recognition in Mobile Phones. *Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/ Distributed Computing*, 197-201, (2006).
- [26] Jeong, D. S., Park, H., Park, K. R., Kim, J. Iris Recognition in Mobile Phone Based on Adaptive Gabor Filter. *Image Processing and Computer Vision*, 457-463, (2005).
- [27] Park, K. R., Park, H., Kang, B. J., Lee, E. C., Jeong, D. S. A Study on Iris Localization and Recognition on Mobile Phones. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, 1-12, (2007).
- [28] Gragnaniello, D., Sansone, C., Verdoliva, L. Iris liveness detection for mobile devices based on local descriptors. *Pattern Recognition Letters*, 57: 1-6, (2014).
- [29] Kurkovsky, S., Carpenter, T., MacDonald, C. Experiments with Simple Iris Recognition for Mobile Phones. *Information Technology: New Generations*, 1293 -1294, (2010).
- [30] Marsico, M., Galdi, C., Nappi, M., Riccio, D. Face and Iris Recognition for Mobile Engagement. *Image and Vision Computing*, 32(12): 1161-1172, (2014).
- [31] Abate, A. F., Frucci, M., Galdi, C., Riccio, D. BIRD: Watershed Based IRIS Detection for mobile devices. *Pattern Recognition Letters*, 57: 1-9, (2014).
- [32] Han, S., Park, H., Cho, D., Park, K., Lee, S. Face Recognition Based on Near-Infrared Light Using Mobile Phone. *Adaptive and Natural Computing Algorithms*. 4432: 440-448, (2007).
- [33] Ijiri, Y., Sakuragi, M., Lao, S. Security Management for Mobile Devices by Face Recognition. *Mobile Data Management*, 49, (2006).
- [34] Kim, D., Chung, K., Hong, K. Person Authentication using face, teeth and voice modalities for mobile device security. *Biometrics Compendium*, 56(4): 2678-2685, (2011).
- [35] Abeni, P., Baltatu, M., D'Alessandro, R. NIS03-4: Implementing Biometrics-Based Authentication for Mobile Devices. *Global Telecommunications Conference*, 1-5.
- [36] Hadid, A., Heikkilä, J.Y., Silven, O., Pietikainen, M. Face and Eye Detection for Person Authentication in Mobile Phones. *Distributed Smart Cameras*, 101-108, (2007).
- [37] İnternet: Brown, N. Mobile Verification by Palmprint Biometrics. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fstacks.stanford.edu%2Ffile%2Fdruid%3Amy512gb2187%2FBrown_Mobile_Identification_by_Palmprint_Biometrics.pdf&date=2015-03-21. Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [38] Franzgrote, M., Borg, C., Tobias, B.J., Bussemaker, S., Jiang, X., Fieleser, M., Zhang, D. Palmprint Verification on Mobile Phones Using Accelerated Competitive Code. *Hand-Based Biometrics*, 1-6, (2011).
- [39] Choraś, M., Kozik, R. Contactless palmprint and knuckle biometrics for mobile devices. *Pattern Analysis and Applications*, 73-85, (2012).
- [40] Han, Y., Tan, T., Sun, Z., Hao, Y. Embedded Palmprint Recognition System on Mobile Devices. *Image Processing and Computer Vision*, 4642: 1184-1193, (2007).
- [41] Kima, D., Shinb, J., Hong, K. Teeth recognition based on multiple attempts in mobile devices. *Journal of Network and Computer Applications*, 33(3): 283-292, (2010).
- [42] Kim, D., Hong, K. Multimodal biometric authentication using teeth image and voice in mobile environment. *Consumer Electronics*, 54(4): 1790 – 1797, (2008).
- [43] Tanviruzzaman, M., Ahamed, S. I., Hasan, C.S., O'Brien, C. ePet: When Cellular Phone Learns to Recognize Its Owner. *Computer and Communications Security*, 13-18, (2009).
- [44] Martinez-Diaz, M., Fierrez, J., Galbally, J., Ortega-Garcia, J. Towards mobile authentication using dynamic signature verification: Useful features and performance evaluation. *Pattern Recognition*, 1-5, (2008).
- [45] İnternet: Rüya Şamlı, R., Kurt, M. (2009) Biyometrik Tanıma Sistemleri. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fab.org.tr%2Fab09%2Fkitap%2Fsamli_yu+ksel_AB09.pdf&date=2015-03-21. Son Erişim Tarihi:22.03.2015.
- [46] Yıldız H. Avuç içi Esaslı Biyometrik Kimlik Tanıma ve Doğrulama, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2, (2010).
- [47] Çınar S. Mobil Android Ortamında Parmak İzi Tanıma ve Kimlik Doğrulama Sisteminin Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13, (2014).
- [48] İnternet: Görgünoğlu, S., Çavuşoğlu, A. (2009). Parmakizi Tanıma Sistemlerinde Kullanılan Özellik Çıkartma Algoritmalarının Performans Analizi. URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fiats09.karabuk.edu.tr%2Fpres%2Fbildiriler_pdf%2FIATS09_01-03_1578.pdf&date=2015-03-21. Son Erişim Tarihi:22.03.2015.
- [49] Varlık, A., Çorumluoğlu, Ö. Dijital Fotogrametri Teknikleri İle Kişi Tanıma. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3(2), 1-24, (2011).
- [50] Aydın Ö. Yapay Sinir Ağlarını Kullanarak Bir Ses Tanıma Sistemi Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 6-22, (2005).
- [51] İnternet: Yılmaz A. Biyometrik Tanıma Sistemleri. URL: <http://www.guvenlikdanismanlik.com/biyometrik-tanima-sistemleri.htm>. Son Erişim Tarihi: 15.09.2014.
- [52] Abdallah, S. J., Osman, M.İ., Mustafa, M. E. Text-Independent Speaker Identification Using Hidden Markov Model. *World of Computer Science and Information Technology Journal*, 2(6), 203-208, (2012).
- [53] Reynolds, D., Rose, R. Robust Text-Independent Speaker Identification Using Gaussian Mixture Speaker Models. *Speech and Audio Processing*, 3: 72-83, (1995).
- [54] Reynolds, D. A. A Gaussian mixture modeling approach to text independent speaker identification, *Ph.D. Thesis*, Georgia Institute of Technology, (1992).

- [55] Campbell, W. M., Campbell, J. P., Gleason, T. P., Reynolds, D. A., Shen, W. Speaker Verification Using Support Vector Machines and High-Level Features. *Speech and Language Processing*, 15(7): 2080-2095, (2007).
- [56] İnternet: Quatieri, F. (2002). Discrete-Time Speech Signal Processing: Principles and Practice. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.pearson.ch%2Fdownload%2Fmedia%2F9780132429429.pdf&date=2015-03-22>. Son Erişim Tarihi: 23.03.2015.
- [57] İnternet: Tunalı, V. Konuşmacı Tanıma Sistemi.(2007). URL:http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.vtunali.com%2Ffiles%2FOzan_MUT_Tez.pdf&date=2015-03-21. Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [58] Daugman, J. How Iris Recognition Works, *Image Processing*, 14(1): 1-3, (2002).
- [59] Femila M.D., Irudhayaraj A.A. Biometric system, *Electronics Computer Technology (ICECT)*, 152-156, (2011).
- [60] İnternet: Kakıcı, A., Biyometrik Tanıma Sistemleri. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.ahmetkakici.com%2Fgenel%2Fbiyometrik-tanima-sistemleri%2F&date=2015-03-22>. Son Erişim Tarihi: 23.03.2015.
- [61] Erdoğan, A. Yüz Tanımadaki Özyüz ve Fisher Yüz Algoritmalarının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 16-54, (2010).
- [62] İnternet: Çevikalp, H., Neamtu, M., Wilkes, M., Barkana, A. Kişi Yüzlerinin Ayırt edilmesi İçin Yeni Bir Yöntem. URL:<http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.math.vanderbilt.edu%2F~neamtu%2Fpapers%2Fcevikalp.pdf+&date=2015-03-22>. Son Erişim Tarihi: 23.03.2015.
- [63] Viola, P., Jones, M. Rapid object detection using a boosted cascade of simple features, in. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 1: 511-518, (2001).
- [64] Turk, M.A., Pentland, A.P. Face recognition using eigenfaces. *Computer Vision and Pattern Recognition*, 586-591, (1991).
- [65] Yaman, B. Özyüz Kullanarak Yüz Tanıma, *Yüksek Lisans Tezi*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adapazarı, 15-18, (2006).
- [66] İnternet: Sönmez, E.B., Özbek N.Ö., Özbek Ö.. (2000). Dalgacık Dönüşümüne Dayalı Çoklu Model Biyometrik Sistem. URL: ab.org.tr/ab08/bildiri/37.doc. Son Erişim Tarihi: 23.03.2015.
- [67] Çelik, E. Görüntü İşlemeye Dayalı Avuç İçi İzininYapay Sınır Ağı İle Tanınması, *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 32-58, (2011).
- [68] İnternet: Welcome to MOBIO. (2008). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.mobioproject.org%2F&date=2015-03-21>. Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [69] İnternet: Biometrics Evaluation and Testing. (2011). <http://www.webcitation.org/query?url=https%3A%2F%2Fwww.beat-eu.org&date=2015-03-21>. Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [70] İnternet: OMRON. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.omron.com%2Frd%2Fcoretech%2Fvision%2Fokao.html&date=2015-03-21>. Son Erişim Tarihi: 21.03.2015.
- [71] İnternet: Face Recognition Homepage.(2015). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.face-rec.org%2Fdatabase%2Fses%2F&date=2015-03-24>. Son Erişim Tarihi: 24.03.2015.
- [72] İnternet: Indian Journal of History of Science. (2001). URL: <http://insaindia.org/journals>. Son Erişim Tarihi: 07.04.2015.
- [73] İnternet: ODTÜ Bilgisayar Topluluğu Elektronik Dergisi. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Ffe-bergi.com%2F%2Fses-Tanima&date=2015-03-24>. Son Erişim Tarihi: 24.03.2015.
- [74] İnternet: Ses tanıma URL: http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.cclub.org.tr%2Fbergi_yeni%2Ffe-bergi%2F2008%2FKasim%2FSesTanima&date=2015-03-24. Son Erişim Tarihi: 24.03.2015.
- [75] İnternet: Biometric Market Developments. (2007). URL: <http://www.acuity-mi.com/hdfsjosg/euyotjtub/Biometrics%202007%20London.pdf>.

Nano Beynitik Çelikler

Ömer Faruk MURATHAN^a, Volkan KILIÇLI^b

^aGazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06500, Teknikokullar, Ankara

^bGazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 06500, Teknikokullar, Ankara

(Geliş / Received : 04.05.2015 ; Kabul / Accepted : 25.06.2015)

ÖZ

Bu çalışmada, son yıllarda geliştirilen nano beynitik çelikler detaylı literatür araştırması yapılarak incelenmiştir. Fe-C alaşımlarında östenitten beynite dönüşüm ile ilgili araştırmalar artarak devam etmektedir. Sunulan bu çalışmada nano beynitik çeliklerin kimyasal kompozisyonları, üretimi, mikroyapı ve mekanik özellikleri verilerek dönüşüm mekanizmaları incelenmiştir. Nano beynitik çelikler pahalı alaşım elementleri ve mekanik işlemlere gerek kalmadan, yüksek mekanik özelliklerde (dayanım, sertlik, kırılma tokluğu vb.) üretilebilmektedirler. Nano beynitik çelikler, basit ısı işlemlerle düşük maliyetle üretilebilmekte olup, zırh çelikleri ve maryaşlandırma çeliklerine alternatif olmasından dolayı bilim ve endüstride büyük öneme sahiptirler.

Anahtar Kelimeler: Beynit, Östemperleme, Karbür İçermeyen Beynit, Nano Beynit, Alt Beynit, Üst Beynit.

Nano Bainitic Steels

ABSTRACT

In this study, nano bainitic steels examined which were developed recent years with respect to detailed literature survey. Researches are increasingly continuing related to transformation of austenite to bainite in Fe-C alloys. In the presented study, chemical compositions, production, microstructures and mechanical properties of nano bainitic steels are provided and the transformation mechanisms are also investigated. Nano bainitic steels having higher mechanical properties (strength, hardness, fracture toughness etc.) can be produced by without expensive alloying elements and mechanical treatments. Nano bainitic steels can be obtained by simple heat treatments with low cost. Moreover it is alternative to armor steels and maraging steels hence has great importance of science and industry.

Keywords: Bainite, Austempering, Carbide Free Bainite, Nano Bainite, Lower Bainite, Upper Bainite.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ötektoid dönüşüm sıcaklıklarından östenitin perlitte ve martensite dönüşümü sıcaklıkları arasında eşsiz bir mikroyapı oluşmaktadır. Bu ara sıcaklıklarda oluşan yapıyı Davenport ve Bain [1] optik mikroskopla ilk olarak görüntülemişlerdir. Perlit ve martensitten çok farklı olan bu yapı, Edgar C. Bain onuruna meslektaşları tarafından “beynit” olarak adlandırılmıştır.

1920’lerin sonlarında östenitin izotermal sıcaklıklarda dönüşümü araştırılırken, martensit ve ince perlit oluşumu bilinmekteydi. 1930 yılında Davenport ve Bain [2] yeni bir mikroyapı keşfetti. Keşfettikleri bu mikroyapı martensit ve perlitte benzememekteydi. Araştırmacılar ilk başta bu yapıyı “asiküler koyu topluluk” (acicular dark aggregate) şeklinde tanımladı. O yıllarda bu mikroyapıya “martensite-troostite” adı verildi. Çünkü bu yapının oluşumu temperlenmiş martensit’te karbür çökmesi ile oluşan yapıya çok benzemektedir [2]. Martensite göre bu yeni yapı daha hızlı dağlanıyordu fakat ince perlitte göre dağlanma hızı düşüktü. Martensit başlama (M_s) sıcaklığının hemen üstünde oluşan bu yapının optik mikroskopta martensite göre görünüşü farklıydı. Yapı olağandışı ve gelecek vadede mekanik

özellikler sergiledi. Temperlenmiş martensitten daha fazla tokluk elde edildi [2]. Bu durum Amerikan Çelik Laboratuvarlarında (United States Steel Corporation Laboratory, Pittsburgh) büyük heyecan uyandırdı.

1934 yılında çalışma arkadaşları bu mikroyapıya Dr. Edgar Collins Bain onuruna “Bainite” adını verdi. Beynit ismi hemen hafızalara ve literatüre yerleşmedi bu sebeple yapılan araştırmalarda ve basılan kitaplarda farklı terminolojiler kullanıldı. Çizelge 1’de beynitin keşfinden itibaren kullanılan adlandırmalar listelenmiştir. 1936 yılında Vilella, Guellich ve Bain [2] beynitik yapıdan “isimsiz, koyu dağlanmış, martensite benzeyen asiküler topluluk” (unnamed, dark etching, acicular aggregate somewhat similar to martensite) şeklinde bahsedilmiştir. 1939 yılında Davenport [2] “hızlı dağlanan asiküler yapı” (a rapid etching acicular structure) şeklinde ifade etmiştir. 1940 yılında Greninger ve Trouin [2] “östemperlenmiş yapılar” şeklinde ifade etmişlerdir. 1942’de basılan ve 1947’de yeni baskısı basılan Gregory ve Simmons kitaplarında “beynit” ifadesine hiç yer vermemişlerdir. Üst mesafe ve alt mesafe olarak sınıflandırılan beynitik yapılar 1939 yılında Mehl [2] tarafından “üst beynit” ve “alt beynit” olarak adlandırılmıştır ve günümüzde halen bu terimler kullanılmaktadır. 1942 yılında Smith ve Mehl [2] yüksek sıcaklıkta tane sınırlarında plaka demetleri şeklinde fazlaca oluşan üst beynit’e “tüy şeklinde beynit”

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:vkilicli@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 115-128

Çizelge 1. İlk araştırmalarda beynit için kullanılan farklı adlandırmalar [2] (Table 1. Different terms of bainite used in early researches)

No	Beynit keşfedildiğinde kullanılan adlandırmalar	İsmlendirenler (Yıl)
1	Unnamed, dark etching, acicular aggregate somewhat similar to martensite (İsimsiz, koyu dağlanmış, martensite benzeyen asiküler topluluk)	Vilella, Guellich ve Bain (1936)
2	A rapid etching acicular structure (Hızlı dağlanan iğnemi yapı)	Davenport (1939)
3	Austempered structures (Östemperlenmiş yapılar)	Greninger ve Trouin (1940)
4	Feathery bainite (Üst Beynit)	Smith ve Mehl (1942)
5	High Range Bainite (Üst Beynit)	Bain ve Davenport (1937)
6	Low Range Bainite (Alt Beynit)	Bain ve Davenport (1937)

(feathery bainite) tanımladı. Ancak bu tanım sık olarak kullanılmadı.

Çeliklerde beynit'in keşfinden yaklaşık 70 yıl sonra Bhadeshia ve arkadaşları [2] düşük sıcaklıklarda uzun süre izotermal bekletme sonucu oluşan "nano beynit" terimini ortaya attılar. Nano beynitik çelikler çok yüksek mekanik özellikler sergilemesi (2000-2500 MPa çekme dayanımı) nedeniyle ileri yüksek dayanımlı çelikler (advanced high strength steel-AHSS) sınıfında yer almaktadır. Nano beynitik çeliklerde dönüşüm mekanizmasının anlaşılması ve mekanik özelliklerin izotermal ısı işlemlerle geliştirilebiliyor olması bu çelikleri araştırmacılar için cazip kılmaktadır.

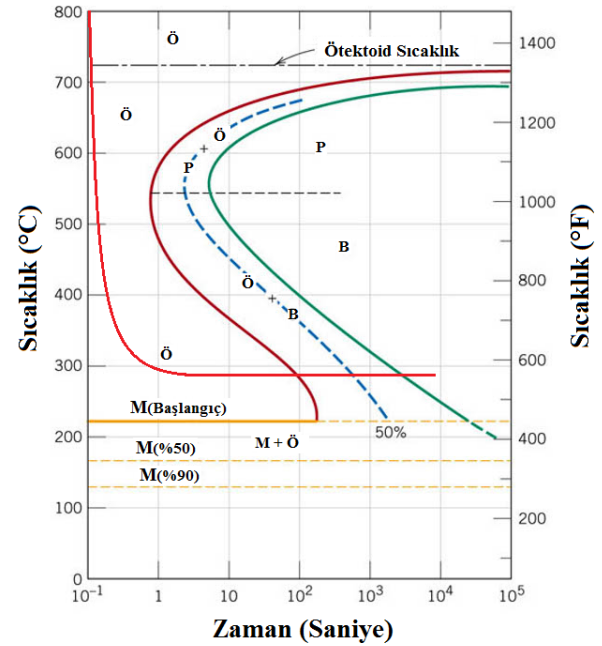
Bu çalışmada, beynitik dönüşüm ve son beş yılda üzerinde yoğun bilimsel araştırmalar yapılan nano beynitik çelikler ile ilgili detaylı literatür incelemesi yapılmış olup bu çeliklerin kimyasal kompozisyonu, üretimi, mikroyapı ve mekanik özellikleri geniş bir şekilde anlatılmaya çalışılmıştır.

2. BEYNİT (BAINITE)

Beynit tanım olarak, ferrit ve lamelli olmayan sementitin (Fe_3C) karışımından oluşan oldukça tok ve sünek bir yapıdır [4]. Beynit, perlit burnunun altında izotermal sıcaklıkta östenitin dönüşümü sonucu oluşan bir yapıdır. Östenitin bozunması sırasında soğuma difüzyon kontrollüdür ve bu esnada perlitin oluşmasına imkân yoktur. Ayrıca soğuma yeterli miktarda yavaş olduğu için martensit oluşumunu da engellemektedir [5]. Şekil 1.'de verilen Zaman-Sıcaklık-Dönüşüm (Time-Temperature-Transformation-TTT) diyagramında perlit ve martensit oluşum sıcaklıkları arasında beynit oluşumu için gerekli olan soğutma ve izotermal bekleme koşulları görülmektedir [1].

2.1. Östenitten Beynite Dönüşüm (Transformation of Austenite to Bainite)

Östenitin beynite dönüşümü ferrit çekirdeklenmesinin iki farklı şekilde olduğuna dair bilimsel alanda görüş farklılıkları vardır. Görüşlerden biri, ilk oluşmuş ferrit difüzyonsuz kayma (diffusionless shear) veya martensit dönüşümü ile oluşmaktadır. Diğer görüş ise ilk oluşmuş ferrit çıkıntı tipinde (ledge-type) çekirdeklenir ve büyür bu esnada kısa mesafeli demir atomu ferrit östenit çıkıntıları arasında yeniden düzenlenir [1].



Şekil 1. Östeitoid çelikte zaman-sıcaklık-dönüşüm diyagramında beynitik dönüşümün şematik gösterimi [6] (Figure 1. Schematically representation of bainite transformation on TTT diagram of eutectoid steel)

Fakat düşük sıcaklıklarda beynit oluşumu sırasında demir atomlarının difüzyonu sınırlandırılmaktadır. Alaşım elementlerinin beynit başlangıç sıcaklığını (B_s) önemli ölçüde etkilediği ampirik formül ile gösterilmiştir. Çeliklerin ısı işleminde beynitik dönüşüm büyük önem arz etmektedir. Alaşım çeliklerinde perlit ve beynitik dönüşümler birbirinden ayrılmaktadır. Bu durum TTT diyagramında körfez bölgesi (bay region) oluşumuna neden olmaktadır. Alaşım elementleri ferrit veya ferrit-östenit ara yüzeylerini ayırarak beynitik ferrit oluşumunu yavaşlatmaktadır.

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2'de beynit başlangıç sıcaklığının (B_s) alaşım elementlerine bağlı ampirik formülü verilmiştir [1]. Karbon östenit içinde yüksek çözünürlüğe sahiptir ve güçlü bir östenit dengeleyicidir ve bu da reaksiyon kinetiğini yavaşlatmaktadır. Çelikte bulunan en son mikroyapıda karbon miktarının artması ile karbürlerinde arttığı tespit edilmiştir [7].

Sertleştirilebilir ve düşük alaşımlı 0,1 - 0,55 % C içeren çelikler için;

$$B_s(^{\circ}C) = 830 - 270 C - 90 Mn - 37 Ni - 70 Cr - 83 Mo \quad E\text{ş.1}$$

Düşük karbonlu ve alaşımlı 0,15 - 0,29 % C içeren çelikler için;

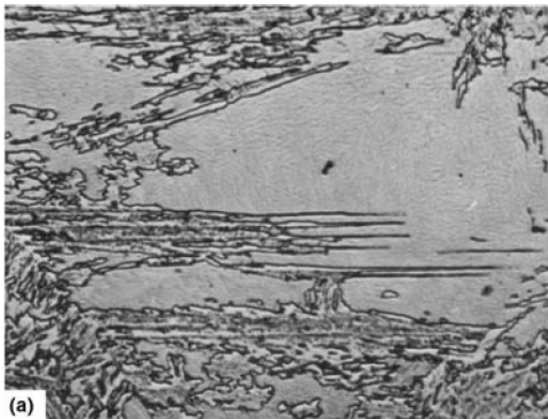
$$B_s(^{\circ}C) = 844 - 597 C - 63 Mn - 16 Ni - 78 Cr \quad E\text{ş.2}$$

2.2. Beynit'in Türleri (Types of Bainite)

2.1.1. Üst Beynit (Upper Bainite)

Ötektoid çeliklerde üst beynit ($350^{\circ}C - 550^{\circ}C$) arasında izotermal ısıl işlem sonucu elde edilmektedir [3,7]. Şekil 2'de üst beynitin optik mikroskopta gözlenen tipik mikroyapısı verilmiştir. Üst beynit kalınlığı $0,2 \mu m$ ve uzunlukları yaklaşık $10 \mu m$ olan ince ferrit plakalarından oluşmaktadır. Plakalar kümeler halinde oluşmaktadır ve bu yapı demet olarak bilinmektedir. Her bir demette plakalar birbirine paraleldir ve her bir plakanın kendine has kristal dizilimi vardır. Demet içerisinde ayrı bulunan plakalara beynitin alt birimi olarak adlandırılır. Beynit alt birimleri genellikle sementit parçacıkları veya düşük düzensiz sınırlar tarafından ayrılır.

Üst beynit birbirinden farklı iki aşamada oluşur. İlk aşamada, karbon çözünürlüğünün çok düşük olduğu (ağırlıkça % 0,02) beynitik ferrit oluşur. Ferrit oluşuktan sonra kalan östenit karbonca zenginleşir ve sonunda sementit parçacıkları geri kalan östenit katmanlarındaki

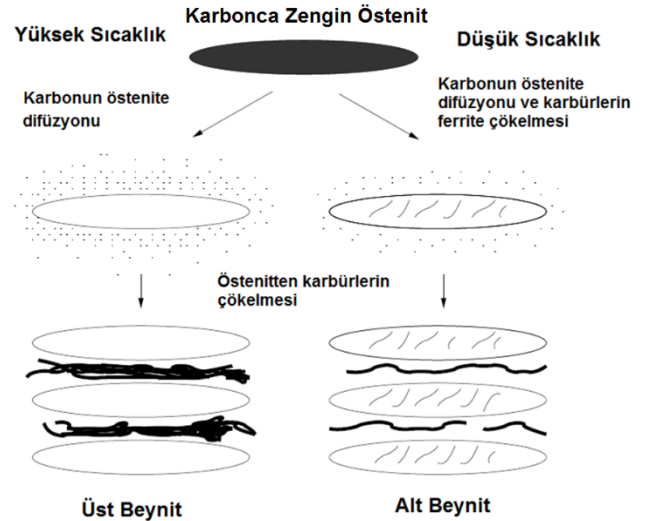


Şekil 2. AISI 4360 çeliğinde üst beynitin mikroyapısı; a) $495^{\circ}C$ ve b) $410^{\circ}C$ 'de izotermal dönüşüm X750, Dağlama: Pikral [1] (Figure 2. The microstructure of upper bainite in AISI 4360 steel isothermally transformed at a) $495^{\circ}C$ and b) $410^{\circ}C$, X750, Etchant: Picral [1])

ferrit alt birimlerine çöklerler. Sementit miktarı alaşımdaki karbon miktarına bağlıdır. Yüksek karbon miktarı ile oluşan sementit tabakaları artar. Yeterli miktarda alaşım elementleri eklenmesi sonucu (Si veya Al gibi), çelik içerisinde sementit oluşumu baskılanmaktadır.

Şekil 3'de alt ve üst beynitin karbonca zengin östenitten dönüşümü şematik olarak verilmiştir. Düşük izotermal sıcaklıklarda ferrit içerisinde ince karbürler çöklerken yüksek izotermal sıcaklıklarda ferrit içerisinde karbür gözlenmez. Yüksek östemperleme sıcaklıklarında üst beynit oluşmaktadır. İlk aşamada oluşan beynitik ferrit karbonca fakirdir. Ferrit oluşumu tamamlandıktan sonra karbon dönüşmemiş östenite difüze olur ve östenit karbonca zenginleşir ve karbür oluşturur. Karbürler ferrit

katmanları arasında çökler. Düşük östemperleme sıcaklıklarında alt beynit oluşmaktadır. Her iki yapı arasındaki büyük ayırım, üst beynitten farklı olarak alt beynitte sementit parçacıklarının ferrit içine çökelmiş olmasıdır.

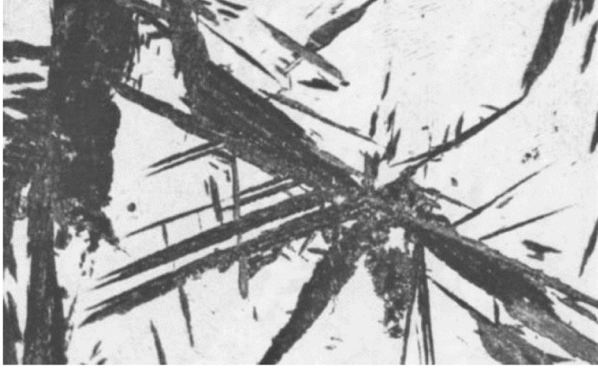


Şekil 3. Alt ve üst beynitik dönüşümün şematik gösterimi [2] (Figure 3. Schematically representation of lower and upper bainitic transformation)



2.1.2. Alt Beynit (Lower Bainite)

Ötektoid çelikte $250^{\circ}C - 350^{\circ}C$ 'ler arasında izotermal bekleme sonucu oluşan alt beynit mikroyapısı ve kristalografik olarak üst beynite çok benzemektedir. Her iki yapı arasındaki büyük ayırım, üst beynitten farklı olarak alt beynitte sementit parçacıkları ferrit içine çökelmiş olmasıdır. Bu nedenle iki farklı sementit çökmesi olmaktadır, beynitik ferrit plakalarını ayıran; karbonca zengin östenitten çökelen sementit ve aşırı doymuş ferritten çökelen sementit olarak çökler [7]. Şekil 4'te Optik mikroskopta gözlenen alt beynitin tipik mikroyapısı görülmektedir.



Şekil 4. AISI 4360 çeliğinde 300°C'de izotermal dönüşüm sonrası alt beynitin mikroyapısı, X750, Dağlama: Pikral [1] (Figure 4. The microstructure of lower bainite in AISI 4360 steel isothermally transformed at 300°C, X750, Etchant: Picral)

Ferrit içerisinde oluşan karbürler her zaman sementit olmak zorunda değildir, kimyasal kompozisyon ve dönüşüm sıcaklıkları etki etmektedir. Örnek olarak silisyumca zengin ($Si > \%1,5$ ağırlıkça) yüksek karbonlu çeliklerde sementit çökmesi yüksek silisyumdan dolayı yavaşlamaktadır bu nedenle beynitik ferrit içinde epsilon karbür sıklıkla çökelebilmektedir.

Alt beynitteki karbürler aşırı incedirler, sadece birkaç nanometre kalınlığında ve yaklaşık 500nm uzunluğundadırlar. Üst beynitik mikroyapı ile kıyaslandığında, daha az ve daha ince sementit parçacıkları ferrit plakaları arasında çöker. Sonuç olarak alt beynitik mikroyapı, üst beynitik mikroyapıya göre daha fazla tokluk sergilemektedir. Bunun nedeni; üst beynitteki kaba sementit parçacıkları yarılma (cleavage) çatlakları ve mikro boşluklara (micro voids) neden olmaktadır [7].

2.2. Beyniti Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Bainite)

Çeliklerde beynitik yapılar, geniş çapta dayanım ve süneklik sunmaktadır. Yüksek karbonlu alt beynitik mikroyapıya sahip bir çelik; 1400 MPa çekme dayanımına ve 55 HRC sertliğe ulaşabilmektedir. Bu dayanımlar, ince ferrit plakalarına, yüksek dislokasyon yoğunluğuna ve ince sementit dağılımları ile elde edilir.

Dönüşüm sıcaklığı düştükçe, beynitik ferrit daha ince karbür dağılımına sahip olur. Bu durumda beynitik ferrit daha yüksek sertlik ve dayanım sağlamaktadır. Su verilmiş ve temperlenmiş çelikler ile kıyaslandığında, östemperlenmiş çelikler benzer sertlik ancak daha yüksek tokluk sergilemektedir (Çizelge 2). Su verme sonrası oluşan martensit oldukça sert ve kırılmandır. Bu nedenle su verilmiş ve temperlenmiş çeliklerin tokluğu östemperlenmiş çeliklere göre oldukça düşüktür (Çizelge 2).

Beynitik çeliğin mikroyapısı, çeliğin mekanik özelliklerini etkilemektedir. Araştırmacılar [1-4,6,7], üst beynitik mikroyapıya sahip bir çeliğin alt beynitik çelik ile kıyaslandığında daha düşük tokluk ve sünekliğe sahip olduğunu bildirmektedir [1].

2.3. Ticari Beynitik Alaşımlar (Commercial Bainitic Alloys)

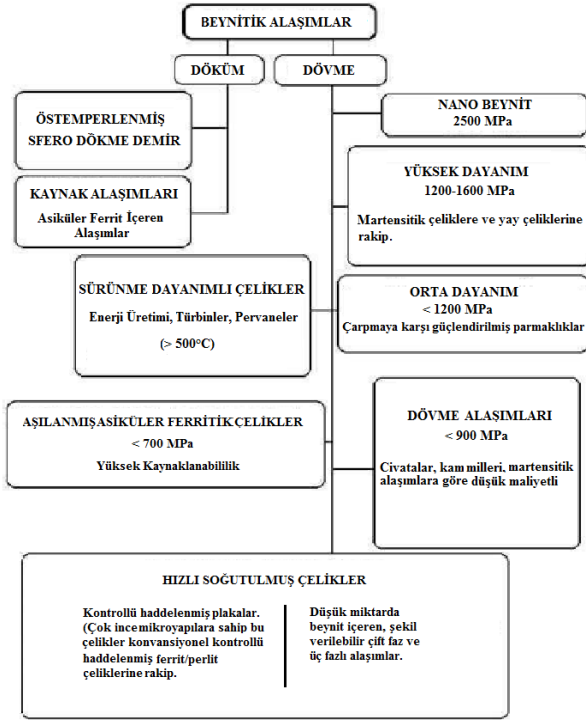
Ticari olarak kullanılan beynitik alaşımlar Şekil 5'te gösterilmiştir [7]. Çok yüksek dayanıma sahip çeliklerde (Ultra High Strength Steels) beynitik ferrit, martensit ve kalıntı östenit bulunmaktadır. Yüksek dayanımlı bu çeliklerin yapısında bulunan Mn, Cr ve Ni bu çeliklerin sertleşebilirliğini arttırmaktadır. Yapıda bulunan yüksek Si ($Si > \%1,5$) sementit çökmesini engellemektedir. Yüksek dayanıma sahip çeliklerde kirlilik (impurity) ve çökelti (inclusion) oldukça düşüktür. Bu sebeple sementit oluşumu için bir engel bulunmamaktadır.

Orta dayanıma sahip çelikler benzer mikroyapıya sahip olup, alaşım elementleri oranı bir miktar düşüktür. Otomobil endüstrisinde kullanılan bu çelikler, çarpmaya karşı güçlendirilmiş parçaların yapımında kullanılmaktadır [7].

Benzer şekilde, beynitik dövme alaşımlar otomobil sektöründe kam milleri yapımında kullanılmaktadır. Sürünme dayanımlı çelikler 1940'lı yılların başından itibaren enerji jeneratörlerinde kullanılmaktadır. Cr, Mo içeren bu çeliklerin sertliği yüksektir. İçerisindeki alaşım elementleri ve ısı işlemlerle karbürler çökelmektedir. Bu karbürler sürünme dayanımını arttırmaktadır. Asiküler ferrit içeren çelikler yüksek kaynaklanabilirliğe sahip olup petrol boru hatlarında ve olumsuz hava şartlarında kullanılmaktadır. Haddeme sonrası hızlı soğutulan beynitik çelikler, iyi şekillendirilebilirliğe sahiptir [7].

Çizelge 2. Farklı ısı işlemler uygulanmış AISI 1095 çeliğinin oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [8] (Table 2. Mechanical properties of heat treated AISI 1095 steel)

Isıl İşlem	Sertlik (Rockwell C)	Tokluk (J)	Toplam Uzama (%)
Su verme + temperleme	53,3	16,43	0
Su verme + temperleme	52,5	19,17	0
Martemperleme	53,0	31,50	0
Martemperleme	52,8	32,87	0
Östemperleme	52,0	61,64	11
Östemperleme	52,5	54,79	8



Şekil 5. Ticari olarak kullanılan beynitik alaşımlar [7] (Figure 5. Commercially used bainitic alloys)

3. NANO BEYİNİT (NANO BAINITE)

Karbonca zengin östenitik matriste 20-40 nm kalınlığında çok ince beynitik ferrit plakalarından oluşan

beynitik çelik elde etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, beynit oluşumu, dönüşüm sıcaklığı minimum 125°C 'de yüksek karbon ve yüksek silisyum içeren bir çelikte ele edilmiştir. Oluşan beynit tabakaları çok ince yapıda olmakla beraber yüksek dayanım ve kabul edilebilir bir süneklik göstermektedir. Oluşan aşırı ince beynit yapısı maryaşlandırma çelikleri ile kıyaslandığında 19 kat daha düşük maliyetli olması ve benzer oranlarda tokluk ve dayanım göstermesi dikkat çekmektedir [5].

Bhadeshia [11], 2005 yılında yapmış olduğu bir çalışmada "Bulk nano crystalline steel" başlığı altında nano beynitik çelik elde ettiğini ve bu yapıdan aynı zamanda "hard bainite" olarak bahsetmiştir. Yaptığı bu çalışmada, östenitin kısmi dönüşümü sırasında karbon nanotüpler ile kıyaslanacak kadar ince ferrit plakaları mikroyapıda görülmüştür. Yapının bu kadar ince olması sıra dışı dayanım, sertlik ve tokluk sağlamaktadır. Pahalı alaşım elementleri ve mekanik işlemler gerektirmeden 2500 MPa çekme dayanımı, %5-30 uzaman 30-40 MPa.m^{1/2} kırılma tokluğu ve 700 HV sertlik basit bir ısıl işlem çevrimi ile (950°C östenitleme sonrası 200°C 10 gün izotermal bekleme) elde edilmiştir [11].

Çizelge 3'te, literatür çalışmalarında kullanılan nano beynit terimleri, tanımları ve yazarlar verilmiştir. Tablodan görülebileceği üzere, literatürde nano beynit ile ilgili bir terim karmaşası varmış gibi görünse de, karbür içermeyen beynit, sert beynit, süper beynit, nano kristal çelik ve nanobain gibi terimler "nano boyuttaki yüksek karbonlu östenit ve beynitik ferrit plakalarından" oluşan "nano beyniti" ifade etmektedir.

Çizelge 3. Nano beynit için kullanılan terimler (Table 3. The terms used for nano bainite)

No	Terim	Tanım	Kaynak
1	"Düşük Sıcaklıkta Oluşan Yüksek Tokluğa Sahip Beynit"	Beynitik ferrit, karbonca zengin kalıntı östenit ve bir miktar martensit içeren çelik.	5
2	"Yüksek Dayanımlı Beynitik Çelik"	Karbür içermeyen beynitik çelik	13
3	"Sert Beynit"	20 nm kalınlığında uzun ince ferrit kristallerine sahip beynit	14
4	"Nano Beynitik Çelikler"	Çok ince beynitik ferrit çitaları (~50 nm) arasında bulunan kalıntı östenit filmleri	15
5	"Östemperlenmiş Silisyum Alaşımli Çelik"	Beynitik ferrit ve kalıntı östenit (ösferrit) içeren çift fazlı çelik	16
6	"Nano Beynit" "Nano Metal"	Isıl işlem ile yüksek yoğunluklu ara yüze sahip demir alaşımlarında, karbonca zengin östenitin içine gömülü olan çok ince plakalara sahip beynitik ferrit (20-40 nm)	17
7	"Nano Kristal Çelik"	Alt beynitik ferrit ve karbonca zengin kalıntı östenite sahip çelik	18
8	"Karbür İçermeyen Beynitik Çelikler"	Dönüşmemiş ince kalıntı östenit filmlerinde iç içe bulunan ferrit çitalarına sahip çelik	19
9	"Gelişmiş Beynitik Çelikler" "Nanobain"	20-40 nm kalınlığında ince kristal ferritli çelik	20
10	"Maryaşlandırma Çelikleri ile Kıyaslanabilir Yeni Geliştirilmiş Beynitik Çelik"	İnce plakalara sahip karbür içermeyen beynitik ferrit ve ince film şeklinde kalıntı östenit'e sahip beynit	21
11	"Süper Beynit"	Karbür içermeyen, aşırı ince beynitik yapıya yüksek miktarda kalıntı östenite sahip yapı	22

yapılar "nano beynit" olarak adlandırılmaktadır. Nano beynitik çelikler mukavim, sünek ve hatta kabul edilebilir tokluk değerlerine sahip olabilmektedirler. [9, 10]. Düşük sıcaklıklarda göz ardı edilemeyecek kadar yüksek tokluk değerleri vermesi dikkat çekmektedir [9].

2002 yılında Bhadeshia ve Caballero [5] "Very strong low temperature bainite" başlıklı çalışmalarında nano

Yüksek tokluğa sahip, büyük ve geniş boyutlarda malzemelere sahip olabilmek için mekanik işlemler veya hızlı soğutmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu özelliklere sahip malzemeler için aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır;

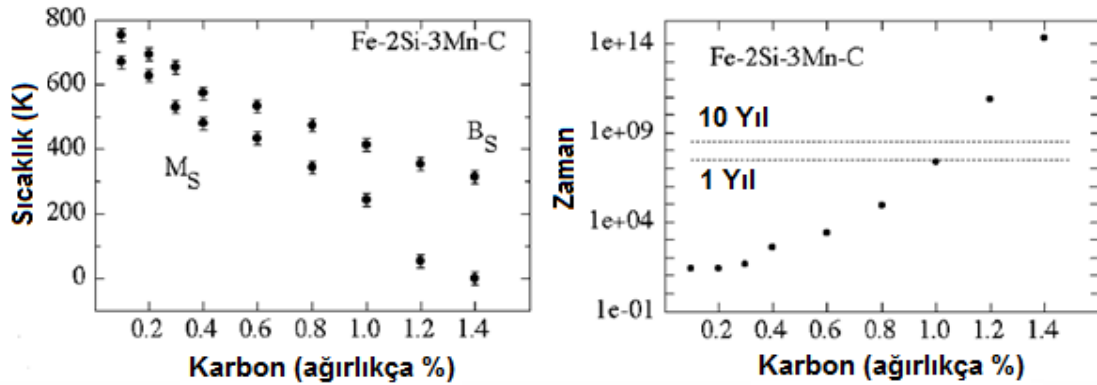
- Dayanım için, yüksek yoğunlukta hatalar bulunmalıdır. Örnek olarak tane sınırları ve dislokasyonlar gibi. Fakat

malzemenin şekli sınırlandırılmamışsa bu hatalar deformasyon ile oluşmamalıdır.

- Hatalar faz dönüşümleri ile oluşturulabilir. Fakat bu hataları gidermek için faz dönüşümü gerekmektedir ki buda aşırı soğuma gerektirmektedir (fazla serbest enerji değişimi).

Karbür içermeyen beynite dönüşen çelikler yukarıdaki şartları sağlamaktadırlar. Beynit ve martensit oluşumu östenitin yer değiştirme mekanizması (displacive) ile oluşur [11]. Dönüşüm sırasında çözünen alaşım elementleri hapsolür ve yüksek gerinim söz konusudur. Bu sebeple dönüşüm ısı düşmektedir. Bağımsız plakaların oluşumu her iki dönüşümde de hızlıdır fakat martensite nazaran beynit oluşumu sırasında genel reaksiyon hızı daha küçüktür. Bunun nedeni beynit oluşumu sırasında dönüşüm alt birim mekanizması ile yayılır, yayılım hızı çekirdeklenme tarafında kontrol edilir ve bu da yeniden ısınmayı tetikler [9].

Karbür içermeyen beynit oluşumu için alt sıcaklık limiti bulunmamaktadır. Hatta oda sıcaklığında bile beynit elde edilebilir, fakat bunun için binlerce yıl gerekmektedir. Pratik açıdan 10 günlük bir süre kabul edilebilir (Şekil 6). Dönüşüm sıcaklığı düştükçe beynit plaka kalınlığı düşmektedir ve buda mekanik özellikleri arttırmaktadır. Karbonca zengin östenitte dağılan beynitik ferrit plakaları 20-40 nm kalınlığında olup çatlak ilerlemesini engellemektedirler. Oluşan bu yapı nano beynit olarak adlandırılmaktadır [14].



Şekil 6. a) Fe-2Si-3Mn çeliği için karbon miktarına bağlı olarak hesaplanmış dönüşüm sıcaklıkları b) Beynitik dönüşümün başlaması için hesaplanmış zaman grafiği [9] (Figure 6. (a) Calculated transformation start temperatures in Fe-2Si-3Mn steel as a function of the carbon concentration. (b) The calculated time required to initiate bainite)

Nano beynitik çeliklerde, beynit oluşumu çıta şeklinde olan alt beynitten oluşmaktadır. Yapıda birbirine paralel ve çıta şeklinde bulunan ferrit daha yüksek darbe tokluğuna sahip olup, taneli beynit içinde bulunan eş eksenli ferrit ve birbirinden ayrı adacıklar şeklinde martensit ve östenitli mikroyapıya göre daha yüksek olduğu görülmüştür [15].

3.1. Kimyasal Kompozisyon (Chemical Composition)

Nano beynitik çelik üretmek için, çelik içerisinde C (0,7 – 1,00 %) , Mn (0,77 – 2,00 %) , Si (1,5 – 3,00 %) ve Cr (0,9 – 1,50) bulunması gerekmektedir. Çelik içerisindeki Si miktarı, nano beynitik çeliklerin mekanik özelliklerini

etkilemektedir. İçerisinde ağırlıkça %1,5'tan daha fazla silisyum içeren çeliklerde izotermal bekleme sırasında sementit çökmesi baskılanır ve bu sebeple karbür çökmesi neredeyse hiç gözlenmez [1-2, 7, 23-34]. Çelik içerisindeki silisyum miktarı östenit içindeki karbon miktarının zenginleştirilmesinde de rol oynamaktadır.

Çizelge 4'te literatürde nano beynitik mikroyapı elde edilen çeliklerin kimyasal kompozisyon aralıkları verilmiştir.

Çizelge 4. Araştırmalarda kullanılan nano beynitik çeliklerin kimyasal kompozisyonları (Table 4. Chemical compositions of nano bainitic steels which were used in researches)

Alaşım Elementi	Miktar (ağırlıkça %)
C	0,7 - 1,00
Mn	0,77 - 2,00
Si	1,5 - 3,00
Cr	0,9 - 1,50
Mo	0,25 - 1,48
Al	0,03 - 0,97
Co	1,37 - 1,60
V	0,09

3.1.1. Alaşım elementlerinin etkisi (Effect of Alloying Elements)

Yüksek miktarda Si ve C içeren nano beynitik çeliklerde, beynit plaka kalınlığı ve kalıntı östenitin miktarı akma dayanımını etkilediği tespit edilmiştir. Yüksek karbonlu

kalıntı östenit miktarındaki artış, sünekliği de arttırmaktadır. Yapıda bulunan Si, aşınma direncini standart nano beynitik bir çeliğe göre arttırdığı tespit edilmiştir [35].

Belirli bir miktarda Si bulunması karbür (Fe_3C) çökmesini engelleyerek mekanik özellikleri geliştirmektedir. Çelikte bir miktar Cr bulunması malzemenin sertliğini arttırmaktadır [36].

Nano beynitik çeliklerde Si miktarının artırılması, çeliğin termal kararlılığını arttırdığı görülmüştür. Yüksek Si miktarı ($Si > 1,5$) yüksek sıcaklıklarda ($\sim 500^\circ C$) sementit çökmesini geciktirdiği için östeniti kararlı hale

getirmektedir. Yüksek Si miktarı yüzey işlemlerinde (galvaniz kaplama gibi) sorun oluşturmaktadır. Bu yüzden Si miktarının azaltılması ve Al miktarının artırılması yüksek sıcaklıklarda kararlılık sağlarken, yüzey işlemlerine engel olmamaktadır [37].

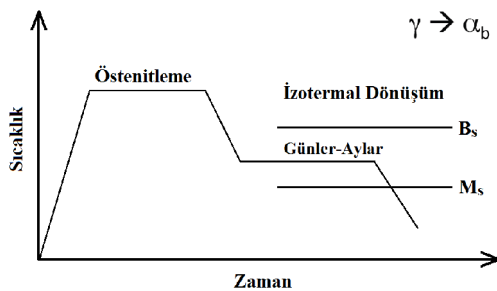
Nano beynitik çeliğe süneklik ve dayanım kazandırmak ve beynitik dönüşümü hızlandırmak için Co ve Al eklenmesi, araştırmalarda uygulanan yollardan birisidir [34, 38]. Östenit tane boyutunun küçültülmesi de aynı etkiyi yaratmaktadır. Yapılan bu değişiklikler daha ince taneli mikroyapı, beynitik ferrit miktarını ve sertliği arttırdığı görülmüştür [38]. Fakat Co maliyeti ve çok yüksek dayanımlı çeliklerde (ultra high strength steels), Al ile çelik temizliğinde uyumsuzluk yarattığı için endüstriyel olarak bu yol pek tercih edilmemektedir. Co ve Al eksikliğini kapatmak için çelik içindeki Mn ve Cr miktarını azaltmak gerekmektedir. Bu yöntemler yerine, nano beynitik çelik üretimi için minimum gerekli olan %1,5 Si miktarını %3 olacak şekilde Si eklendiğinde, kalıntı östenitin miktarını azaltmaktadır [39].

Düşük sıcaklıkta östemperlenmiş yüksek karbonlu Si ve Al bakımından zengin bir çeliğe Co yerine Al eklenmesi sonucunda, beynitik dönüşümü hızlandırmakla birlikte karbür çökmesini engellemektedir [40].

V ilavesi sonucunda birincil östenit tane boyutu inceltirilerek, beynit için daha çok çekirdeklenme bölgeleri oluşturulmaktadır. Mikroyapıda daha ince beynitik yapının bulunması sonucunda toklukta artış görülmüştür. Bunun nedeni ise bu yapının kırılma esnasında oluşan çatlak yönünü değiştirmesidir [41].

3.2. Üretimi (Production)

Sıcaklık ve izotermal bekleme süresi faz dönüşümlerini ve kalıntı östenitte bulunan karbon miktarını doğrudan etkilemektedir. Karbon miktarındaki değişim mekanik özellikleri değiştirmektedir. Çok uzun süreli izotermal dönüşüm, karbür çökmesine neden olmaktadır. Bu durum, östeniti kararsız hale getirmektedir. Çelik içerisindeki yüksek Si miktarı, östeniti karbonca zenginleştirmektedir. Bununla birlikte TRIP etkisine (gerinim altında östenitin martensite dönüşmesi) neden olmakta ve ferriti katı eriyik mukavemetlenmesiyle sertleştirmektedir. Dönüşüm sıcaklığının artırılmasıyla, kalıntı östenit içerisindeki karbon miktarı azalmaktadır ve buda akma dayanımını düşürmektedir [42].



Şekil 7. Nano beynitik dönüşüm için ısıl işlem çevrimi [43] (Figure 7. Heat treatment cycle for transformation of nano bainite)

İçerisinde minimum ağırlıkça %1,5 Si içeren orta-yüksek karbonlu çeliklerde nano beynit üretimi basit ısıl işlem çevrimleri ile mümkündür. Her çelik için farklı ısıl işlem çevrimlerine gerek duyulsa da ortalama olarak 900°C'de 30 dakika östenitleme sonrası 200°C'de 10 gün izotermal bekletilmesi sonucunda istenilen mikroyapı elde edilmektedir (Şekil 7).

Nano beynitik çeliklerde, ısıl işlem sonrası soğuma hızının ve kalıntı östenit miktarının çarpılma üzerine belirgin etkisi olduğunu tespit edilmiştir. Özellikle mikroyapısı martensit ve yüksek miktarda kalıntı östenitten meydana gelen çeliklerde ısıl işlem sonrası yüksek miktarda çarpılma görülmektedir. Soğuma hızı çarpılmayı önemli derecede etkilemektedir. Isıl işlem sonrası soğuma hızı düşürülürse çarpılma göz ardı edilebilecek kadar azalmaktadır. Beynitik dönüşüm sırasında oluşan çarpılma ihmal edilecek kadar düşüktür [44].

Nano boyutta beynitik ferrit ve karbonca zengin kalıntı östenite sahip çeliğin çok uzun süreli izotermal ısıl işlemi sonucu karbonca zengin östenitten sementit çökmesi meydana gelmiştir. Çok uzun süreli izotermal ısıl işlem sonrası soğuma sırasında östenit, martensit dönüşümü için kararlılığı kaybetmemişken, beynitik ferrit etkilenmemiştir [45].

Nano beynitik çeliklerin temperlenmesi sırasında, östenit / ferrit ara yüzeyinde sistem dengeye gelmeden kalıntı östenit çözünmektedir [46].

Östemperleme sırasında 350°C altında, reaksiyon hızı yavaş olmasına rağmen, içinde aşırı doymuş karbon çözültüsü beynitik ferrit oluşumuna neden olmaktadır. Dönüşüm sıcaklığı yükseltildiğinde, karbon difüzyonu hızlanmakta ve buda karbonca aşırı doymuş ferrit içerisinde bulunan karbon miktarını azaltmaktadır. Açığa çıkan karbon yapıdaki östenite veya ferrit içinde karbür oluşturmak sureti ile çökeltmektedir. Karbon miktarındaki süreksizlikler yüksek veya düşük sıcaklıklarda beynit oluşturma mekanizmasını etkilememiştir. Beynit oluşumu aslında martensit oluşumunun doğası ile aynı olduğu gözlemlenmiştir [47].

Östenitin hacimsel oranı ve östenit içindeki karbon miktarı beynitik dönüşüm sıcaklığı ile değişmektedir. Düşük östemperleme sıcaklıklarında belirli bir süre tutulduktan sonra östenit dönüşümü tamamlanmaktadır. Östemperleme sıcaklığı artırıldığında beynitik ferrit miktarı azalmaktadır ve buda beynitik ferrit içindeki karbon miktarını azaltmaktadır. X ışını kırınım sonuçlarında beynitik ferrit oluşumu sırasında karbon heterojen olarak dağıldığı için iki tür östenit oluşmaktadır; düşük karbonlu östenit (birincil östenit) ve yüksek karbonlu östenit olarak (beynitik ferritin alt birimi ve çıta aralarında) oluşmaktadır [17].

Nano beynit; çelik soğuk deformasyon uğratılarak östenitin hızla soğutulması ve düşük sıcaklıkta östemperlenmesi ile elde edilmektedir. Deformasyon, martensit başlangıç sıcaklığı (Ms) düşürmektedir ve bu da daha düşük sıcaklıklarda östemperleme yapılmasına olanak sağlamaktadır [48].

Östenitleme sıcaklığının artırılması ile yüksek karbon ve düşük alaşımlı çeliklerde beynit oluşturma sıcaklığını düşürmüştür ve daha kısa süreler izotermal bekleme imkânı sağlamıştır. 980°C’de östenitleme ve izotermal bekleme sonrası en yoğun beynit miktarı elde edilmiştir. Bunu sonucunda en yüksek sertlik elde edilmiştir (810 HV). Beynitik plakalar 10 nm kalınlığa sahip olup ince ferrit plakalar içermektedir [49].

3.2.1. Toz metalurjisi ile üretilen nano beynitik çelikler (Nano bainitic steels produced by powder metallurgy)

Toz metalurjisi ile üretilen nano beynitik çelikte karbonca zengin östenitten oldukça küçük tane boyutu elde edilmiştir. Östenit tane boyutunun küçülmesi martensit başlangıç sıcaklığını baskılayarak düşük sıcaklıkta nano boyutta plaka şeklinde beynitik ferritin dönüşümü için zaman kazandırmıştır. Yüksek karbonlu östenit, düşük karbonlu östenite göre daha kararlı olduğu için yüksek karbonlu östenit içinde yapıda dislokasyon ve nano ikizlemelerin varlığı tespit edilmiştir [50].

Nano beynitik çeliklerde beynitik dönüşümün hızlı olması istenmektedir. Toz metalurjisi yöntemi ile üretilen nano beynitik çeliklerde östenit tane boyutunu küçültmenin beynitik dönüşümü hızlandırdığı görülmüştür. Büyük toz parçacıkları öğütme sırasında yeterli boyutlara indirilmez ise yapıda mikro gözenekler oluşturmakta ve buda mekanik özellikleri olumsuz

fazında azalma görülmektedir. Mikroyapı farklılıklarının yanı sıra, izotermal bekleme sıcaklığı arttıkça çeliklerin sertlikleri azalmaktadır [14].

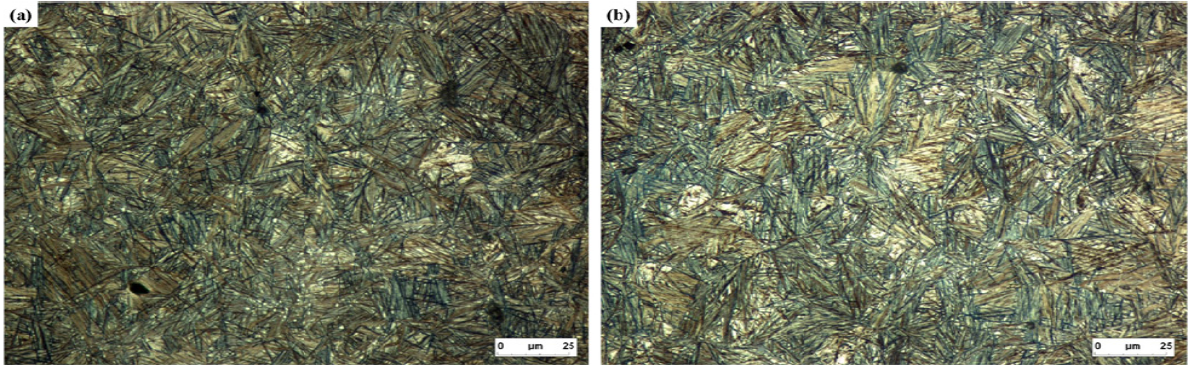
Östenitleme sonrası, 200 - 300°C’de izotermal dönüşümde M_s sıcaklığı 264°C olan 0,66 C ve 0,69 Mn içeren çelikte, M_s altında martensit oluşumunun engellendiği SEM ve dilatometrik analizler ile tespit edilmiştir. Martensit oluşumunun engellenmesi, M_s sıcaklığı altında östenitin izotermal olarak dönüşüme devam etmesi neden gösterilmektedir. Beynit oluşumu, M_s sıcaklığının üstünde östenitin dönüşmesi ile gerçekleşmektedir ve bu çalışmada da M_s sıcaklığı altında östenit, beynite dönüşebilmektedir [52].

X ışını kırınımı analizleri sonucu, M_s sıcaklığı altında izotermal dönüşüm sırasında beynit oluşumu görülmektedir. İzotermal dönüşüm sırasında yavaş gelişen birimler beynitik ferrit, hızlı oluşan birimler martensit olarak belirlenmiştir [53].

Düşük karbonlu çeliğin dilatometrik analiz ile M_s sıcaklığı altında izotermal dönüşüm sonrası mikroyapıda beynit ve temperlenmiş martensit varlığı tespit edilmiştir [54].

3.3. Mikroyapıları (Microstructures)

Şekil 8’de “0,98 C – 0,77 Mn – 2,9 Si – 0,45 Cr – 0,21 Cu – 0,16 Ni – 0,016 – P 0,014 S” nano beynitik çeliğinin optik mikroskop görüntüleri verilmiştir [39].



Şekil 8. Nano beynitik çeliğinin optik mikroyapıları; a) 220°C/22 saat, b) 250°C/16 saat [39] (Figure 8. Optical micrographs of nano bainitic steel, a) a) 220°C/22h, b) 250°C/16h)

etkilemektedir [51].

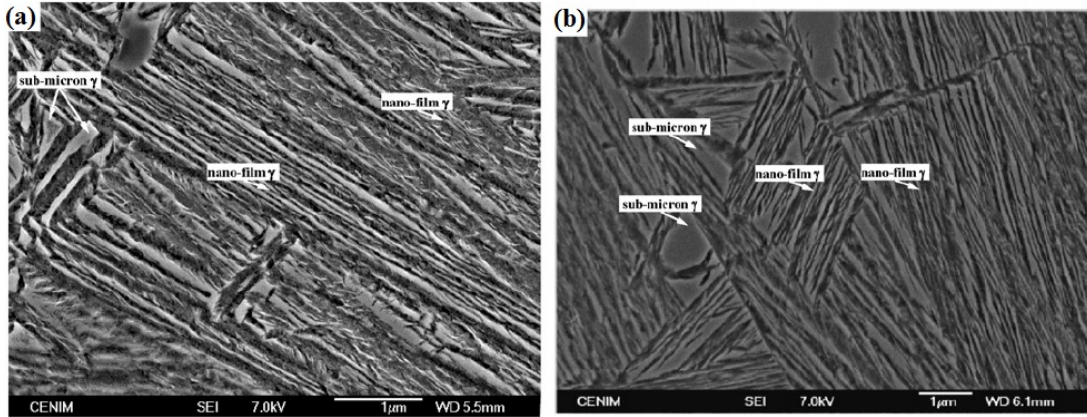
3.2.2. M_s sıcaklığının altında beynit oluşumu (Bainite formation below M_s temperature)

Nano beynitik çelikler beynit başlangıç (B_s) ve martensit başlangıç (M_s) sıcaklıkları arasında izotermal olarak bekletilmesi sonucu elde edilmektedir. Yapılan çalışmalarda, martensit başlangıç (M_s) sıcaklığı altında üretilen nano beynitik çeliklerin morfoloji ve mekanik özelliklerinde farklılıklar olduğu görülmüştür.

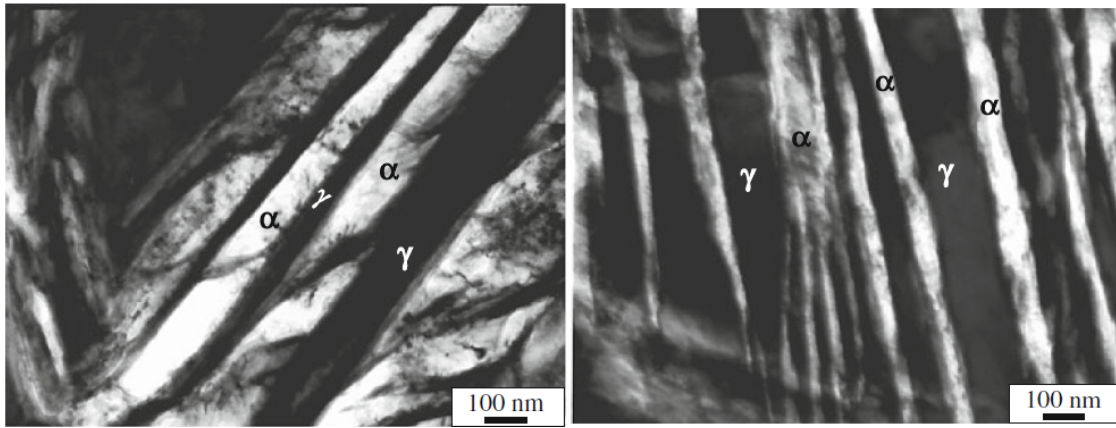
Cruz Junior [23], üç farklı M_s sıcaklığı (200°C, 220°C ve 270°C) altında ticari yay çeliği olan AISI 9254 (M_s : 278°C) çeliğinde martensit, beynitik ferrit ve kalıntı östenit fazları tespit edilmiştir. İzotermal bekleme sıcaklığı M_s sıcaklığına yaklaştıkça, beynitik ferrit, kalıntı östenit fazlarında artış görülmekteyken, martensit

Mikroyapılar temperlenmiş martensite benzemekte olup aslında nano beynitik mikroyapıya sahiptirler. İzotermal bekleme sıcaklığı düştükçe, nano beynitik yapının (beynitik ferrit ve yüksek karbonlu kalıntı östenit) oluşması için daha uzun süreler ihtiyaç duyulmaktadır.

Şekil 9’da nano beynitik çeliğin tarama elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri verilmiştir. Mikroyapının oldukça ince olduğu açıkça gözükmektedir. Yüksek karbonlu östenit ve beynitik ferrit çıtalari belirgin olarak gözükmektedir. Azalan izotermal bekleme sıcaklığı ile yapının daha ince bir yapı olduğu ve bunda mekanik özellikleri (çekme dayanımı, tokluk, sertlik gibi) olumlu olarak etkilediği bilinmektedir.



Şekil 9. Nano beynitik çeliğinin SEM mikroyapıları; a) 220°C/22 saat, b) 250°C/16 saat [39] (Figure 9. SEM micrographs of nano bainitic steel, a) 220°C/22h, b) 250°C/16h)



Şekil 10. Nano beynitik çeliğinin TEM mikroyapıları, 200°C-240 saat [55] (Figure 10. TEM micrographs of nano bainitic steel, a) 220°C/22h, b) 250°C/16h)

Şekil 10'da nano beynitik çeliğin TEM görüntüleri verilmiştir. Yüksek karbonlu kalıntı östenitin ve beynitik ferrit çıtalarının kalınlığı 30 - 50 nm arasında değişmektedir.

3.4. Mekanik Özellikler (Mechanical Properties)

Nano beynitik çelikler mukavim, sünek ve hatta kabul edilebilir tokluk değerlerine sahip olabilmektedirler [9]. Ortalama olarak çekme dayanımı 1600-2500 MPa, %5-30 süneklik, 30-40 MPa.m^{1/2}'dan fazla kırılma tokluğu ve 700HV sertliğe sahiptirler [11]. Düşük sıcaklıklarda göz ardı edilemeyecek kadar yüksek tokluk değerleri vermesi dikkat çekmektedir [9]. Nano beynitik çeliklerin aşınma direnci, benzer sertlikteki beynitik çeliklerden daha üstün olduğu belirlenmiştir [56].

Nano beynitik çeliklerde, beynitik ferrit miktarı ve kalıntı östenit miktarı, çeliğin dayanımını ve sünekliğini etkilemektedir. Beynitik ferrit miktarı, dayanım doğru orantılı, kalıntı östenit miktarı süneklik ile doğru orantılıdır. Östenitin gerilme ve gerinme altında martensite dönüşme eğilimi (TRIP etkisi), malzemenin sünekliğini sınırlamaktadır [57].

Nano beynitik çeliklerin tokluğunu etkileyen parametreler; kimyasal kompozisyon, dönüşüm sıcaklığı, beynitik ferrit ve kalıntı östenit hacim oranı, mikroyapıda bulunan fazların morfolojisi olarak belirlenmiştir.

Mikroyapıda bulunan fazların hacimsel oranı ve morfolojisi sünekliği etkilemektedir. Yüksek miktardaki "adacık" şeklinde östenit yerine "çıtı" gibi film şeklinde östenit bulunması sonucunda, malzemenin kırılma tokluğu yüksek olmaktadır. Mikroyapıda daha ince beynitik yapının bulunması sonucunda toklukta artış görülmüştür. Bunun nedeni ise bu yapının kırılma esnasında oluşan çatlak yönünü değiştirmesidir [41].

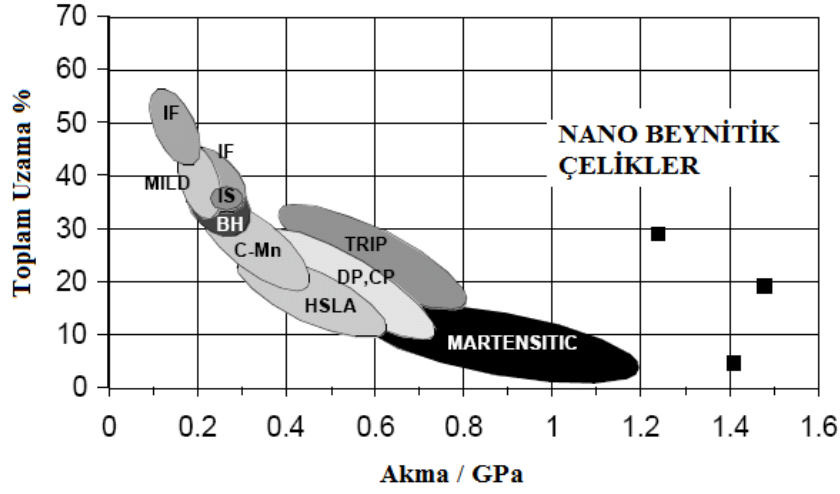
Sementit içermeyen nano beynitik çeliklerde beynit oluşumu, çıtı şeklinde olan alt beynitten oluşmaktadır. Tane şeklinde beynit, çatlak ilerleme hızına karşı düşük direnç göstermektedir. Buna ek olarak, kaba martensit ve östenit taneleri erken çatlak çekirdeklenmesine neden olduğu düşünülmektedir [15].

Orta karbonlu çeliklere çok aşamalı izotermal beynitik dönüşüm sonucunda martensit ve kalıntı östenitin boyutlarını ve beynit plaka boyutlarını küçültürken mekanik özellikler geliştirilmiştir [58].

Çizelge 5'te ısı işlem parametrelerine göre nano beynitik çeliklerin mekanik özellikleri (akma, çekme dayanımı ve sertlik değerleri) verilmiştir. Çalışmalarda kullanılan çeliklerde yüksek karbon (ağırlıkça % 0,77 - 1,02) ve yüksek silisyum (> %1,5) oranına sahiptir. Yüksek mekanik özelliklere sahip nano beynitik çelikler; 1400 MPa - 2000 MPa aralığında akma dayanımı, 1700 MPa

– 2500 MPa aralığında çekme dayanımı ve 600 – 650 HV aralığında sertliğe sahiptir. Nano bey nitik çelikler yüksek dayanım ile birlikte %5 - %30 aralığında değişen toplam uzama değerlerine sahiptirler.

artış, toplam uzama ile ters orantılıdır. Nano bey nitik çeliklerde ise yüksek akma değerleri (1,2-1,5 GPa) ile birlikte yüksek toplam uzama elde edilmektedir. Yüksek mekanik özellikler, nano bey nitik çeliklerin



Şekil 11. Nano bey nitik çeliklerin yüksek dayanımlı ticari çelikler ile mekanik özelliklerinin kıyaslanması. BH- fırında sertleşebilen çelik, CMn- karbon-mangan çeliği, CP- karmaşık fazlı çelik, DP- çift fazlı çelik, IF- arayer elementi içermeyen çelik, IS- izotropik, HSLA-yüksek dayanımlı düşük alaşımli çelik, TRIP- dönüşümün neden olduğu plastisite çeliği [59] (Figure 5. Comparison of strength versus total elongation of conventional steels and nano bainitic steels. BH- bake hardenable, CMn-carbon manganese, CP-complex phase, DP- dual phase, IF-interstitial free, IS-isotropic, HSLA-High strength low alloy steel, TRIP- Transformation induced plasticity)

Şekil 11’de nano bey nitik çelikler ile ticari olarak kullanılan yüksek dayanımlı çeliklerin akma ve toplam uzama değerleri kıyaslanmıştır. Akma dayanımındaki

mikroyapısında bulunan 20-40 nm kalınlığında bey nitik ferrit ve nano boyutta film şeklindeki yüksek karbonlu kalıntı östenit çitalarına atfedilmektedir.

Çizelge 5. Nano bey nitik çeliklerin mekanik özellikleri (Table 5. The mechanical properties nano bainitic steels)

No	Kimyasal Kompozisyon	Isıl İşlem	Mekanik Özellikler	Kaynak
1	1.94 Mn - 1.59 Si - 1.33 Cr - 0.30 Mo - 0.02 Ni - 0.11 V	1000°C 15 dak östenitleme, 190°C 2 hafta izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1959 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2500 MPa Sertlik: 648 (HV30)	5
2	0.98 C – 1.89 Mn – 1.46 Si – 1.26 Cr – 0.26 Mo – 0.09 V	950°C östenitleme, 200°C 10 gün izotermal bekletme	$\sigma_{Çekme}$: 2500 MPa Sertlik: 700 HV	13
3	0.77 C - 0.36 Mn - 2.36 Si - 0.27 Mo - 0.021 P - 0.011 S - 0.023 Ti - 0.039 V	930°C 60 dak östenitleme, 240°C 60 dak izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1820 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2050 MPa Sertlik: 52 HRC	64
4	0.79C–1.98Mn– 1.56Si –1.01Cr–0.24Mo - 1.51Co–1.01Al	200°C ‘de izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1410 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2260 MPa Sertlik: 690 HV	65
5	0.22 C – 0.28 Mn – 1.57 Si – 0.01 Mo – 2.95 Ni	^a 900°c 300 sn östenitleme, 400°c 198 sn izotermal bekletme ^b 900°C 300 sn östenitleme, 475°C 72 sn izotermal bekletme	^a σ_{Akma} : 934 MPa ^a $\sigma_{Çekme}$: 1095 MPa ^b σ_{Akma} : 587 MPa ^b $\sigma_{Çekme}$: 827 MPa	66
6	0.9 C - 1.94 Mn - 1.51 Si - 1.14 Cr - 0.25 Mo - 2.61 Ni 0.09 V - 1.37 Co - 0.59 Al - 0.01 Cu	900°C 30 dak östenitleme, 200°C 72 saat izotermal bekletme	σ_{Akma} : 2000 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2200 MPa	41

7	0.98 C - 0.77 Mn - 2.90 Si - 0.016 P - 0.014 S - 0.45 Cr - 0.16 Ni - 0.21 Cu	^a 950°C 60 dak östenitleme, 250°C 16 saat izotermal bekletme ^b 950°C 60 dak östenitleme, 220°C 22 saat izotermal bekletme	^a σ_{Akma} : 1698 MPa ^a $\sigma_{Çekme}$: 2068 MPa ^a Sertlik: 613 (HV10) ^b σ_{Akma} : 1704 MPa ^b $\sigma_{Çekme}$: 2287 MPa ^b Sertlik: 664 (HV10)	39
8	0.56 C - 0.58 Mn - 1.43 Si - 0.47 Cr	^a 900°C 5 dak östenitleme, 200°C 1 gün izotermal bekletme ^b 900°C 5 dak östenitleme 270°C 1 gün izotermal bekletme	^a σ_{Akma} : 1900 MPa ^a $\sigma_{Çekme}$: 2100 MPa ^a Sertlik: 685 HV ^b σ_{Akma} : 1600 MPa ^b $\sigma_{Çekme}$: 1500 MPa ^b Sertlik: 510 HV	23, 67
9	0.25 C - 2.50 Mn - 1.50 Si - 1.50 Cr	400°C 40 dak izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1097 MPa $\sigma_{Çekme}$: 1758 MPa Sertlik: 505 (HV5)	15
10	0.99 C - 0.76 Mn - 1.58 Si - 0.46 Cr - 0.02 Mo	250°C 16 saat izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1834 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2205 MPa Sertlik: 652 (HV30)	35
11	1.01 C - 0.82 Mn - 1.51 Si - 0.46 Cr - 0.10 Mo	^a 250°C 16 saat izotermal bekletme ^b 220°C 22 saat izotermal bekletme ^c 200°C 64 saat izotermal bekletme	^a σ_{Akma} : 1852 MPa ^a $\sigma_{Çekme}$: 2164 MPa ^a Sertlik: 659 (HV30) ^b σ_{Akma} : 1883 MPa ^b Sertlik: 707 (HV30) ^c σ_{Akma} : 2019 MPa ^c Sertlik: 751 (HV30)	35
12	1.02 C - 0.76 Mn - 1.53 Si - 0.46 Cr - 0.02 Mo - 0.02 Nb	^a 220°C 22 saat izotermal bekletme	^a σ_{Akma} : 1798 MPa ^a Sertlik: 714 (HV30) ^a $\sigma_{Çekme}$: 2278 MPa	35
13	0.61 C - 0.76 Mn - 1.45 Si - 2.42 Cr	250°C 12 saat izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1582 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2030 MPa Sertlik: 589 (HV30)	35
14	0.90 C - 0.79 Mn - 1.65 Si - 0.48 Cr - 0.01 Mo	^a 220°C 40 saat izotermal bekletme ^b 250°C 22 saat izotermal bekletme	^a σ_{Akma} : 1931 MPa ^a $\sigma_{Çekme}$: 2329 MPa ^a Sertlik: 710 (HV30) ^b σ_{Akma} : 1910 MPa ^b $\sigma_{Çekme}$: 2213 MPa ^b Sertlik: 659 (HV30)	43
15	0.99 C - 0.74 Mn - 2.47 Si - 0.97 Cr - 0.03 Mo - 0.12 Ni - 0.17 Cu - 0.02 Al	250°C 6 saat izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1646 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2072 MPa Sertlik: 658 (HV30)	68
16	0.53 C - 0.79 Mn - 1.64 Si - 0.18 Cr - 0.08 Ni - 0.1 Cu - 0.016 Al - 0.024 P - 0.027 S	850°C 30 dak östenitleme, 350°C izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1500 MPa Sertlik: 48-50 HRC	69
17	0.78 C - 2.02 Mn - 1.6 Si - 1.01 Cr - 0.25 Mo - 1.37 Al - 3.83 Co	950°C 30 dak östenitleme, 220°C 3 gün izotermal bekletme	σ_{Akma} : 1775 MPa $\sigma_{Çekme}$: 2210 MPa Sertlik: 636 (HV50)	70

3.5. Aşınma Davranışı (Wear Behavior)

Nano beynitik çeliklerin aşınma direnci, benzer sertlikteki beynitik çeliklerden üstün olduğu görülmüştür. Ek olarak çok ince mikroyapıdan dolayı, aşınma testi sırasında yüzey sertleşmesi (pekleşme) meydana gelmektedir. Bunun sonucunda, aşınma oranı azaltılmaktadır diğer bir deyimle, yüksek aşınma direnci sağlanmaktadır. Yüzey sertliğinin nedeni, gerinim

altında östenitten martensite dönüşümün (TRIP etkisi) gerçekleşmesidir [56].

Nano beynit, ince perlit ve martensit 'in aşınmaları kıyaslanması sonucunda en sert faz olan martensitin aşınma direnci yüksek çıkmıştır. Beynitin aşınmaya gösterdiği tepki aşınan yüzeyde kanal açma ve ufak çukurcuklar oluşturma şeklinde olmuştur, martensit fazında ise kesme şeklinde aşınma bölgesi oluşmuştur. [60].

3.6. Nano Beynitik Çeliklerin Kaynaklanabilirliği (Weldability of Nano Bainitic Steels)

Nano beynitik çelikler, yüksek karbon içermektedir bu yüzden kaynaklanabilirliği problem oluşturmaktadır. Kaynak sonrası soğuma esnasında kırılğan martensitik yapının oluşması sonucunda yüksek darbe tokluğu elde edilememektedir [18].

Nano beynitik çeliğin kaynaklanabilirliğinin düşük olması, bu çelikler için bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir. Fakat tek başlarına düşük sıcaklıklarda göz ardı edilemeyecek kadar yüksek tokluk değerleri vermesi dikkat çekmiştir [9].

Yüksek karbon miktarından dolayı nano beynitik çeliklerin kaynaklanması sonucunda, kaynaklanan bölgede çatlaklar oluşmaktadır. Bu yüzden nano beynitik çelikler kaynak yapılamamaktadır. Bunun nedeni kaynak sonrası soğuma esnasında östenitin kırılğan martensite dönüşmesidir. Bu dönüşümü engellemek için, kaynak sonrası soğuma sırasında çelik beynit başlangıç sıcaklığına ulaştığın anda, ısıtım işlemi uygulanmalıdır. Fırın sıcaklığı beynit başlangıç ve martensit başlangıç sıcaklığı arasında olmalıdır. Isıtım işlemi yeniden beynitik dönüşüm gerçekleştirilmektedir. Uygulanan bu yöntem, metalurjik olarak ana malzemeye uyum sağlamalıdır [61].

3.7. Nano Beynitik Çeliklerin Korozyon Direnci (Corrosion Resistance of Nano Bainitic Steels)

Nano beynitik çeliklerde karbonca zengin kalıntı östenitte korozyon görülmektedir. 200°C 'de oluşan nano beynit, 350°C 'de oluşan nano beynite göre daha yüksek korozyon direnci göstermiştir. Bunun nedeni 350°C 'de oluşan kalıntı östenit miktarının hacimsel ve boyutsal olarak 200°C 'de oluşan kalıntı östenite göre daha fazla olmasıdır [62].

Klorür çözeltisi kullanılarak, nano beynitik çeliklerin, martensitik çeliklere nazaran daha yüksek korozyon direnci gösterdiği yapılan elektrokimyasal deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Martensitik çelikte taneler arası korozyon görülmekte iken, nano beynitik çelikte kalıntı östenitin olduğu belirli bölgelerde çözünme görülmüştür. Buna neden olarak, mikroyapı farklılığı gösterilmektedir [63].

4. SONUÇ (CONCLUSION)

Karbonca zengin kalıntı östenit (γ_R) filmleri ve 20-40 nm kalınlığında çok ince beynitik ferrit (α_b) plakalarından oluşan yapılar "nano beynit" olarak adlandırılmaktadır. Nano beynitik çelik ilk olarak 2002 yılında Caballero ve Bhadeshia tarafından üretilmiştir. Pahalı alaşım elementlerine ve mekanik işlemlere gerek kalmadan, basit ısıtım çevrimleri ile üretilebilen nano beynitik çelikler bu özelliği ile bilimsel ve endüstriyel alanda dikkat çekmektedirler.

İçerisinde minimum ağırlıkça %1,5 silisyum bulduran yüksek karbonlu çeliklerde elde edilebilen bu yapı maryaşlandırma çelikleri ile kıyaslandığında 19 kat daha düşük maliyetli olması ve benzer oranlarda tokluk (30-40

MPa m^{1/2}) ve dayanım göstermesi (2500 MPa çekme dayanımı, %5-30 uzama, 700 HV sertlik) dikkat çekmektedir.

Her çelik için farklı östenitleme sıcaklıkları olsa da ortalama olarak 900°C'de östenitleme sonrası beynit başlangıç sıcaklığı (B_s) ve martensit başlangıç sıcaklığı (M_s) arasında 10 gün izotermal olarak bekletilmesi sonucu nano beynitik çelik üretimi mümkündür. Çelikteki yüksek karbon miktarı izotermal bekleme sırasında kalıntı östenitin içerisinde çözünerek mekanik özellikleri arttırmaktadır. Bunun yanı sıra, yüksek silisyum miktarı karbür çökmesini engellemekle birlikte östenit içindeki karbon miktarının zenginleştirilmesinde rol oynamaktadır.

Halen üzerinde yoğun bilimsel araştırmalar yapılmakta olan nano beynitik çelikler sağladıkları yüksek mekanik özellikler ve ekonomik olmaları nedeniyle endüstriyel uygulamalar için gelecek vaat etmektedirler.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Krauss, G. *Steels: Processing, Structure, and Performance*, ASM International, (2005).
2. Bhadeshia, H.K.D.H. *Bainite in Steels*, Institute of Metals, UK, (1992).
3. Sinha, A. K. *Ferrous Physical Metallurgy*, Butterworth, USA, (1989).
4. Smith W.F. (Çev.: Erdoğan, M.) *Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri*, Nobel Yayın, Ankara, (2000).
5. Caballero, F.G., Bhadeshia, H.K.D.H., Mawella, K.J.A., Jones, D.G., & Brown, P. Very Strong Low Temperature Bainite, *Materials Science and Technology*, 18(3): 279-284, (2002).
6. Callister, W.D., & Rethwisch, D.G. *Materials Science and Engineering: An Introduction*, Wiley, New York, USA, (2007).
7. Bhadeshia, H.K.D.H. & Honeycombe, R. *Steels: Microstructure and Properties*, 3rd edition, Butterworth-Heinemann, USA, (2006).
8. Davis, J. R., Mills, K. M., & Lampman, S. R. *Metals Handbook*, vol. 1. Properties and Selection: Irons, Steels, and High-Performance Alloys. *ASM International*, Materials Park, Ohio, USA, (1990).
9. Bhadeshia, H.K.D.H. The first bulk nano structured metal, *Science and Technology of Advanced Materials*, 14(1): 1-7, (2013).
10. Edmonds, D., Matlock, D., & Speer, J. The Recent Development of Steels with Carbide-Free Acicular Microstructures Containing Retained Austenite, *La Metallurgia Italiana*, 1: 41-49, (2011).
11. Bhadeshia, H.K.D.H. Bulk nano crystalline steel, *Ironmaking & Steelmaking*, 32(5): 405-410, (2005).
12. Caballero, F.G., Miller, M.K., Garcia-Mateo, C., & Cornide, J. New experimental evidence of the diffusionless transformation nature of bainite, *Journal of Alloys and Compounds*, 577: 626-630, (2013).
13. Caballero, F.G., & Bhadeshia, H.K.D.H. Very strong bainite, *Current Opinion in Solid State and Materials Science*, 8(3): 251-257, (2004).

14. Bhadeshia, H. K. D. H. Hard Bainite, *Solid Solid Phase Transformations*, 1: 469-484, (2005).
15. Caballero, F.G., Allain, S., Cornide, J., Velásquez, J.P., Garcia-Mateo, C., & Miller, M.K. Design of cold rolled and continuous annealed carbide-free bainitic steels for automotive application, *Materials & Design*, 49: 667-680, (2013).
16. Beladi, H., Adachi, Y., Timokhina, I., & Hodgson, P. D. Crystallographic analysis of nano bainitic steels, *Scripta Materialia*, 60(6): 455-458, (2009).
17. Chen, X., & Vuorinen, E. In situ x-ray observation of bainitic transformation of austempered silicon alloyed steel, *Journal of Materials Research*, 24(04): 1559-1566, (2009).
18. Bhadeshia, H.K.D.H. Nanostructured Bainite, *Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 466, 3-18, (2010).
19. Caballero, F. G., Miller, M.K., & Garcia-Mateo, C. Carbon supersaturation of ferrite in a nanocrystalline bainitic steel, *Acta Materialia*, 58(7): 2338-2343, (2010).
20. Cornide, J., Garcia-Mateo, C., Capdevila, C., & Caballero, F.G. An assessment of the contributing factors to the nano scale structural refinement of advanced bainitic steels, *Journal of Alloys and Compounds*, 577: 43-47, (2013).
21. Wang, Y.H., Zhang, F.C., & Wang, T.S. A novel bainitic steel comparable to maraging steel in mechanical properties. *Scripta Materialia*, 68(9): 763-766, (2013).
22. Rose, A.J., Mohammed, F., Smith, A.W.F., Davies, P.A., & Clarke, R.D. Superbainite: Laboratory Concept to Commercial Product, *Materials Science and Technology*, 30(9): 1094-1098, (2014).
23. Cruz Junior, J.A., & Santos, D.B. Effect of tempering temperature on isothermal decomposition product formed below Ms, *Journal of Materials Research and Technology*, 2(2): 93-99, (2013).
24. Hofer, C., Leitner, H., Winkelhofer, F., Clemens, H., & Primig, S. Structural characterization of carbide-free bainite in a Fe-0.2 C-1.5 Si-2.5 Mn steel, *Materials Characterization*, 102: 85-91, (2015).
25. Zhang, X., Xu, G., Wang, X., Embury, D., Bouaziz, O., Purdy, G. R., & Zurob, H.S. Mechanical Behavior of Carbide-free Medium Carbon Bainitic Steels, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 45(3): 1352-1361, (2014).
26. Timokhina, I. B., Beladi, H., Xiong, X.Y., Adachi, Y., & Hodgson, P.D. Nanoscale microstructural characterization of a nanobainitic steel, *Acta Materialia*, 59(14): 5511-5522, (2011).
27. Rakha, K., Beladi, H., Timokhina, I., Xiong, X., Kabra, S., Liss, K.D., & Hodgson, P. (2014). On low temperature bainite transformation characteristics using in-situ neutron diffraction and atom probe tomography, *Materials Science and Engineering A*, 589: 303-309.
28. Martis, C.J., Putatunda, S.K., Boileau, J., & Spray, J.G. The static and dynamic mechanical properties of a new low-carbon, low-alloy austempered steel, *Materials Science and Engineering A*, 589: 280-287, (2014).
29. Long, X.Y., Kang, J., Lv, B., & Zhang, F.C. Carbide-free bainite in medium carbon steel, *Materials & Design*, 64: 237-245, (2014).
30. Kim, K.H., & Lee, J. S. On microstructure and properties of Si modified 100Cr6 bearing steels. *Materials Science and Technology*, 28(1): 50-54, (2012).
31. Jezierska, E., Dworecka, J., & Roźniatowski, K. Nanobainitic Structure Recognition and Characterization using Transmission Electron Microscopy, *Archives of Metallurgy and Materials*, 59(4): (2014).
32. Yoozbashi, M.N., & Yazdania, S. Acceleration of Bainitic Transformation in Nanostructured, Low Temperature Bainitic Steels by Using of Thermodynamic Model, *Solid State Phenomena*, 172: 214-220, (2011).
33. Mandal, D., Ghosh, M., Pal, J., De, P.K., Chowdhury, S.G., Das, S.K., Das, G., & Ghosh, S. Effect of austempering treatment on microstructure and mechanical properties of high-Si steel, *Journal of Materials Science*, 44(4): 1069-1075, (2009).
34. Caballero, F.G., Chao, J., Cornide, J., Garcia-Mateo, C., Santofimia, M.J., & Capdevila, C. Toughness deterioration in advanced high strength bainitic steels, *Materials Science and Engineering A*, 525(1): 87-95, (2009).
35. Sourmail, T., Caballero, F.G., Garcia-Mateo, C., Smanio, V., Ziegler, C. Kuntz, M., Elvira, R., Leiro, A., Vuorinen, E., Teeri, T., Evaluation of potential of high Si high C steel nano structured bainite for wear and fatigue applications, *Materials Science and Technology*, 29(10): 1166-1173, (2013).
36. Sidhu, G., Bhole, S.D., Essadiqi, E., Chen, D.L. (2013). Characterization of Isothermally Heat-Treated High Carbon Nano bainitic Steels, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(10): 3070-3076.
37. Hulme-Smith, C.N., Lonardelli, I., Peet, M.J., Dippel, A.C., Bhadeshia, H.K.D.H. Enhanced thermal stability in nano structured bainitic steel, *Scripta Materialia*, 191-194, (2013).
38. Garcia-Mateo, C., Caballero, F.G., & Bhadeshia, H.K.D.H. Acceleration of low-temperature bainite, *ISIJ International*, 43(11): 1821-1825, (2003).
39. Garcia-Mateo, C., Caballero, F.G., Sourmail, T., Kuntz, M., Cornide, J., Smanio, V., & Elvira, R. Tensile behaviour of a nano crystalline bainitic steel containing 3wt% silicon, *Materials Science and Engineering A*, 549: 185-192, (2012).
40. Yang, J., Wang, T. S., Zhang, B., & Zhang, F. C. Microstructure and mechanical properties of high-carbon Si-Al-rich steel by low-temperature austempering, *Materials & Design*, 35: 170-174, (2012).
41. Avishan, B., Yazdani, S., & Nedjad, S.H. Toughness variations in nanostructured bainitic steels. *Materials Science and Engineering A*, 548: 106-111, (2012).
42. Mohamed Y. Sherif, Characterisation and Development of Nano structured, Ultrahigh Strength, and Ductile Bainitic Steels, *Ph.D.Thesis*, (2006).
43. Garcia-Mateo, C., Sourmail T., Caballero F.G., Smanio V., Kuntz M., Ziegler C., Leiro A., Vuorinen E., Elvira R., and Teeri T. Nanostructured Steel Industrialisation: Plausible Reality, *Materials Science and Technology*, 30(9): 1071-1078, (2014).
44. Amey, C.M., Huang H., and Rivera-Díaz-del-Castillo P.E.J. Distortion in 100Cr6 and nano structured bainite. *Materials&Design*, 35: 66-71, (2012).

45. Avishan, B., Garcia-Mateo, C., Yazdani, S., & Caballero, F.G. Retained austenite thermal stability in a nanostructured bainitic steel, *Materials Characterization*, 81: 105-110, (2013).
46. Caballero, F. G., Miller, M.K., Garcia-Mateo, C., Capdevila, C., & Babu, S.S. Redistribution of alloying elements during tempering of a nanocrystalline steel, *Acta Materialia*, 56(2): 188-199, (2008).
47. Caballero, F.G., Miller, M.K., Garcia-Mateo, C., Cornide, J., & Santofimia, M.J. Temperature dependence of carbon supersaturation of ferrite in bainitic Steels, *Scripta Materialia*, 67(10): 846-849, (2012).
48. Zhang, M., Wang T.S., Wang Y.H., Yang J., and Zhang F.C. Preparation of nano structured bainite in medium-carbon alloy steel. *Materials Science and Engineering A*, 568: 123-126, (2013).
49. Kong, D., Liu, Q., and Yuan L. Effect of Austenitizing Temperature on Formation of Hard Bainite, *Metal Science and Heat Treatment*, 56(7-8): 444-448, (2014).
50. Lonardelli, I., Bortolotti, M., Van Beek, W., Girardini, L., Zadra, M., & Bhadeshia, H.K.D.H. Powder metallurgical nanostructured medium carbon bainitic steel: Kinetics, structure, and in situ thermal stability studies, *Materials Science and Engineering A*, 555: 139-147, (2012).
51. Lonardelli, I., Girardini, L., Maines, L., Menapace, C., Molinari, A., & Bhadeshia, H.K.D.H. Nano structured bainitic steel obtained by powder metallurgy approach: structure, transformation kinetics and mechanical properties, *Powder Metallurgy*, 55(4): 256-259, (2012).
52. Van Bohemen, S.M.C., Santofimia, M.J., & Sietsma, J. Experimental evidence for bainite formation below Ms in Fe-0.66 C, *Scripta Materialia*, 58(6): 488-491, (2008).
53. Kolmskog, P., Borgenstam, A., Hillert, M., Hedström, P., Babu, S. S., Terasaki, H., & Komizo, Y. I. Direct Observation that Bainite can Grow Below Ms, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 43(13): 4984-4988, (2012).
54. da Silva, E.P., Xu, W., Föjler, C., Houbaert, Y., Sietsma, J., & Petrov, R.H. Phase transformations during the decomposition of austenite below Ms in a low-carbon steel, *Materials Characterization*, 95: 85-93, (2014).
55. Garcia-Mateo, C., Caballero, F.G., Miller, M.K., & Jiménez, J.A. On measurement of carbon content in retained austenite in a nanostructured bainitic steel. *Journal of Materials Science*, 47(2): 1004-1010, (2012).
56. Leiro, A., Vuorinen, E., Sundin, K.G., Prakash, B., Sourmail, T., Smanio, V. Caballero, F.G., Garcia-Mateo, C., Elvira, R. Wear of nano-structured carbide-free bainitic steels under dry rolling-sliding conditions, *Wear*, 298: 42-47, (2013).
57. Avishan, B., Garcia-Mateo, C., Morales-Rivas, L., Yazdani, S., & Caballero, F.G. Strengthening and mechanical stability mechanisms in nanostructured bainite. *Journal of Materials Science*, 48(18): 6121-6132, (2013).
58. Wang, X.L., Wu, K.M., Hu, F., Yu, L., Wan, X.L. Multi-step isothermal bainitic transformation in medium-carbon steel. *Scripta Materialia*, 74: 56-59, (2014).
59. Garcia-Mateo, C., Caballero, F.G., & Bhadeshia, H.K.D.H. Mechanical properties of low-temperature bainite, *Materials Science Forum*, 500: 495-502, (2005).
60. DasBakshi, S., P. H. Shipway, and H.K.D.H. Bhadeshia. Three-body abrasive wear of fine pearlite, nano structured bainite and martensite, *Wear*, 308(1): 46-53, (2013).
61. Fang, K., Yang, J.G., Liu, X.S., Song, K.J., Fang, H.Y., & Bhadeshia, H.K.D.H. Regeneration technique for welding nano structured bainite, *Materials & Design*, 50: 38-43, (2013).
62. Kazum, O., Kannan, M.B., Beladi, H., Timokhina, I., Hodgson, P., & Khoddam, S. Selective Dissolution of Retained Austenite in Nano structured Bainitic Steels, *Advanced Engineering Materials*, 16(4): 442-444, (2014).
63. Kazum, O., Kannan, M. B., Beladi, H., Timokhina, I. B., Hodgson, P. D., & Khoddam, S. Aqueous corrosion performance of nanostructured bainitic steel. *Materials & Design*, 54: 67-71, (2014).
64. Chen, X., & Li, Y. Effects of Ti, V, and rare earth on the mechanical properties of austempered high silicon cast steel, *Metallurgical and Materials Transactions A*, 37(11): 3215-3220, (2006).
65. Bhadeshia, H.K.D.H. Properties of fine-grained steels generated by displacive transformation, *Materials Science and Engineering A*, 481: 36-39, (2008).
66. Bleck, Wolfgang, and Florian Gerdemann, Improved mechanical properties by control of bainite transformation, *Materials and Manufacturing Processes*, 43-50, (2011).
67. Cruz Junior, J.A., Rodrigues, T.F.M., Viana, V.D.C., Abreu, H., & Santos, D.B. Influence of temperature and time of austempering treatment on mechanical properties of SAE 9254 commercial steel, *Steel Research International*, 83(1): 22-31, (2012).
68. Rementeria, R., Morales-Rivas, L., Kuntz, M., Garcia-Mateo, C., Kerscher, E., Sourmail, T., & Caballero, F.G. On the role of microstructure in governing the fatigue behaviour of nanostructured bainitic Steels, *Materials Science and Engineering A*, 630: 71-77, (2015).
69. Barbacki, A., & Mikołajski, E. Optimization of heat treatment conditions for maximum toughness of high strength silicon steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 78(1): 18-23, (1998).
70. Hasan, H.S., Peet, M.J., Avettand-Fènoël, M. N., & Bhadeshia, H.K.D.H. Effect of tempering upon the tensile properties of a nanostructured bainitic steel. *Materials Science and Engineering: A*, 615: 340-347, (2014).

Sürtünme Karıştırma Kaynağı ile Birleştirilen Etial 1050 H14 Al Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması

Mehmet ERDEM* Mustafa KARABULUT*

*İnönü Üniversitesi, Mühendislik fakültesi, Makine mühendisliği, Malatya/Türkiye
(Geliş / Received : 30.04.2015 ; Kabul / Accepted : 26.07.2015)

ÖZ

Bu çalışmada, dikey başlı bir freze tezgahında üç farklı devir (710-900-1120 devir/dakika) ve ilerleme hızı (50-80-100 mm/dakika) kullanılarak 3 mm kalınlığındaki ETİAL 1050 H14 Al alaşım levhaları sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynaklı numunelerin mikro yapı ve mikro sertlik özelliklerini tespit etmek için kaynaklı numune yüzeylerine zımparalama, parlatma ve dağlama işlemleri yapılmıştır. Genelde, ana metalden karıştırma bölgesine doğru ilerledikçe tüm kaynaklı birleştirmelerin sertlik değeri azalmıştır. Ana metalin tane yapısı hadde yönünde uzamış ve mikro sertliği de 45 HV'dir. Isı tesiri altında kalan bölge kabalaşmış tane yapısına sahiptir ve mikro sertliği 27-38 HV'dir. Termo mekanik etkilenen bölgede taneler karıştırıcı ucun dönme yönünde yönlendiği belirlenmiştir. Tüm numunelerde bu bölgenin sertliği ısı tesiri altında kalan bölgelere kıyasla fazladır. Karıştırma bölgesindeki tanelerin dinamik yeniden kristalleşme ile ince eş eksenli tane yapısına dönüştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Sürtünme karıştırma kaynağı, Al alaşımları, Mikro yapı ve Mikro sertlik

Investigation of the Microstructure and Mechanical Properties of Etial 1050 Al Alloy Joints Produced by Friction Stir Welding

ABSTRACT

In this study, ETİAL 1050 H14 Al alloy plates of 3 mm thickness were joined by friction stir welding using a vertical milling machine at three different rotational speeds (720-910-1120 rpm) and at three different welding speeds (20-50-80 mm/minute). Grinding, polishing and etching were applied to the surface of the welded samples in order to ascertain the microstructure and micro hardness characteristics of the samples. Generally the hardness values of all the welded joints decreased from base the plate towards the stirred zone. Base metal exhibited elongated grains in rolling direction and its micro hardness was determined to be 45 HV. The heat affected zone displayed a coarse-grain structure and its micro hardness was 27-38 HV. The experiments have shown that the grains on the thermomechanically affected zone oriented towards the direction of the rotation of the stirring pin. The hardness of this zone was higher than that in the heat affected zone. It was also determined that fine equiaxed grains were formed in the stirred zone due to dynamic recrystallization.

Keywords: Friction stir welding, Al alloys, Micro structure and Micro hardness.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Alüminyum, geliştirilen özellikleri bakımından sanayi sektöründe tercih sebebi olmaktadır. Hafifliği, iletkenlik özelliğinin iyi oluşu, korozyon direncinin yüksek olması, düşük sıcaklıklarda emniyetli çalışabilmesinin yanında değişik elementlerle alaşım yaparak basit yapı çeliklerinin mukavemet değerlerine ulaşması, gıda sektöründen, uzay sanayisine ve değişik alaşımların balistik özelliklerinin iyiliğinden dolayı da askeri araç yapımına kadar geniş bir kullanım alanı vardır [1]. Al ve alaşımlarını ergitmeli kaynak yöntemleri ile birleştirilirken yoğun ısı girdisine maruz kalmaktadırlar. Bu ısı girdisi malzemelerde tane yapısını değiştirmekte

ısıdan etkilenen bölge genişliğini ve kalıntı gerilme miktarını artırmaktadır. Bu durum mekanik özellikleri olumsuz etkilemektedir [2-5].

Sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) Al ve alaşımları için geliştirilmiş bir katı hal kaynak yöntemidir [6-9]. Bu kaynak yönteminde özel olarak tasarlanmış bir karıştırıcı uç belli bir devirde dönerek birleştirilecek parçaların ara yüzeyine sürtünmektedir. Bu esnada iki yüzey arasındaki sürtünmeden dolayı takım altında kalan alanda metal yumuşamaktadır. Takıma ilerleme hareketinin verilmesi ile birlikte yumuşayan (çamur kıvamına gelen) bu metal takımın uç kısmı vasıtasıyla ötelenerek kaynak dikişini oluşturmaktadır [10]. Kaynak bölgesi, karıştırma bölgesi (KB), Termomekanik etkilenen bölge (TMEB) ve ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) olmak üzere üç bölgeden meydana gelir [11].

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: mehmet.erdem@inonu.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 129-134

Karıştırma bölgesinde karıştırıcı uç dinamik bir karıştırma sağlar ve bu bölgede dinamik yeniden kristalleşme meydana gelir.

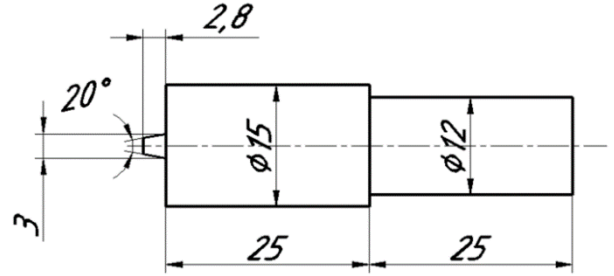
Ergitmeli kaynak yöntemlerine oranla sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilen parçalardaki ısı girdisi daha azdır [10]. Mukavemet kaybını azaltmak için SKK yönteminde kaynak bölgesine ısı girişi azaltılabilir. Bu işlem takım dönme hızının azaltılması ve ilerleme hızının artırılması veya harici su soğutma ile yapılabilir. Böylece sertlik ve mukavemet değerleri de artırılabilir [12]. Sürtünme karıştırma kaynak yönteminde batıcı uç kaynak yapılacak levhaların tabanına kadar batırılmamaktadır. Karıştırılan malzeme hidrostatik basınç ile taban bölgede sıkıştırılarak bu bölgede birleştirme elde edilmektedir. Kaynak parametrelerinin uygun olmaması durumunda sürtünme karıştırma kaynaklı birleştirmelerde bu tür kaynak hatalarına rastlanmaktadır. Bu sorunun giderilmesi için hidrostatik basıncın artırılması gerekir. Bu amaçla daha yüksek karıştırma devri kullanılarak hidrostatik basınç artırılabilir[13].

Bu çalışmada mikroyapı ve mekanik özellikleri tespit etmek amacıyla ETİAL 1050 H14 Al levhalar sürtünme karıştırma kaynağı (SKK) ile birleştirilmiştir. Bu levhaların ana metal, ITAB ve TMEB+KB ait mikro yapı ve mekanik özellikleri (mikro sertlik) tespit edilmiştir.

2. MATERYAL ve METOT (MATERIAL AND METHOD)

Bu çalışmada, 3 mm kalınlığında ticari saflıkta ETİAL 1050 H14 alüminyum levhalar kullanılmıştır. Bu levhanın kimyasal bileşimi Tablo 1’de, mekanik özellikleri de Tablo 2’de verilmiştir. SKK’da kullanılan kaynak parametreleri de Tablo 3’de verilmiştir. Karıştırıcı uç olarak DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinden yapılmış takım kullanılmıştır. Kullanılan karıştırıcı ucun geometrisi Şekil 1’de verilmiştir. Sıcak

tabanına yakın bölgede soğuk birleşme hatasını ve porozite oluşumunu önlemek için konik uçlu karıştırıcı takım seçilmiştir. Kaynak işlemi Tablo 3’de belirtilen parametreler kullanılarak 1982 yapımı TAKSAN marka FU 315 V/2 serisi universal freze tezgahında yapılmıştır.



Şekil 1. SKK’da kullanılan karıştırıcı uçun geometrisi (Geometry of the stirred pin used in welding)

Çizelge 3. SKK kaynak parametreleri (Parameters of the friction stir welding)

Malzeme	Takım dönme hızı (devir/dakika)	Takım ilerleme hızı (mm/dakika)	Takım dönme yönü
ETİAL 1050 H14	710	50	Saat yönünde
		80	
		100	
	900	50	
		80	
		100	
	1120	50	
		80	
		100	

Çizelge 1. 1050 Al alaşımının kimyasal bileşimi (The chemical composition of 1050 Al alloy)

Element	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Ga	V	Zr	Al
Sonuçlar	0,077	0,304	0,002	0,046	0,001	0,000	0,000	0,010	0,020	0,014	0,013	0,000	99,513

Çizelge 2. 1050 Al alaşımının mekanik özellikleri (The mechanical properties of 1050 Al alloy)

Mekanik özellik	Çekme muk. (MPa)	Akma muk. (MPa)	% Uzama
Min.	105	85	4
Max.	145

iş takım çeliğinden yapılan uçlara 1020 °C’ de 28 dakika bekletildikten sonra yağda su verme işlemi, su verme işleminden sonra da 550°C’ de 105 dakika bekletilerek üç aşamalı temperleme işlemi yapılmıştır. Karıştırma esnasında dövme basıncını artırarak kaynak

Kaynaklı numunelerin mikro yapı ve mikro sertlik özelliklerini tespit etmek için kaynaklı numune yüzeyleri zımparalanmıştır (240, 400, 800 ve 1200 Mesh). Parlatma işlemi 6 ve 3 µm’lik parlatma

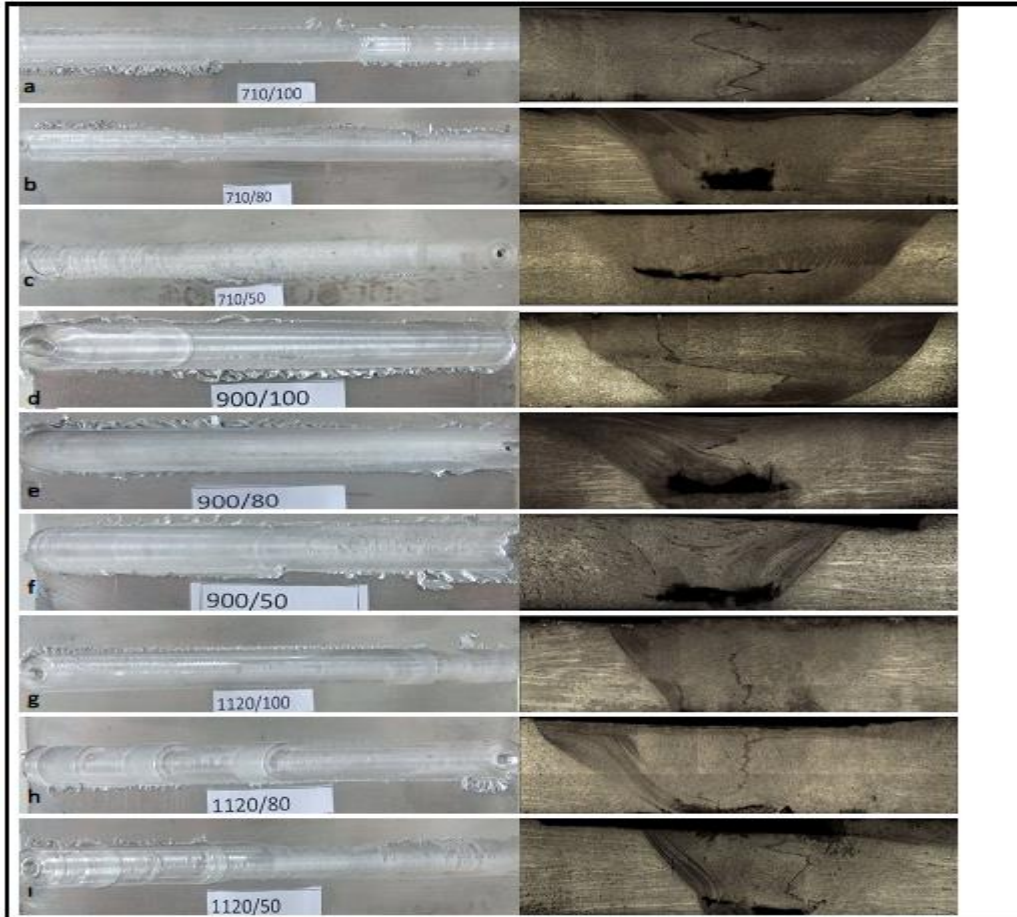
solüsyonu ile yapılmıştır. Parlatılmış numuneler keller dağlayıcısı ile dağlanmış ve Leica DM4000M markalı optik mikroskopta mikro yapı resimleri çekilmiştir. Numunelerin mikro sertlikleri Emco Test Durascan 20 marka cihazda 100 gr yük kullanılarak HV cinsinden ölçülmüştür.

3. SONUÇLAR ve TARTIŞMA (RESULTS and DISCUSSION)

3.1. Mikroyapı Sonuçları (The microstructure Results)

Resim 2.a-ı'da farklı parametrelerde sürtünme karıştırma kaynağı ile birleştirilen Al plakaların yüzey ve optik mikroskop görüntüleri verilmiştir. Yüzeysel incelemelerde kaynak yüzey kalitesinin iyi olduğu ve karıştırıcı uç hareketinin kaynak hattı boyunca istikrarlı olduğu (boşluk ve bağlantısız ara yüzey birleşim kusurlarının olmaması) belirlenmiştir. Karıştırıcı uç levhalara uygun bir şekilde daldırılmaz ve karıştırıcı uç

omzu levha yüzeyine düzgün temas ettirilmezse istikrarsız karıştırıcı uç hareketi oluşur [14,15]. Bu durum kaynak hatalarının oluşumuna neden olur. Karıştırıcı uç omzuna sıvanan metal kütlesi arttığında kaynak yüzey pürüzlülüğü de artmıştır. Karıştırıcı uç omzuna sıvanan metal kütlesi miktarı, karıştırıcı uça etki eden basınca ve/veya karıştırıcı uç dalma derinliğine bağlıdır. Karıştırıcı uç dalma derinliği artırıldığında sıvanan metal kütlesi miktarı ve kaynak yüzey pürüzlülüğü azalmıştır. Aynı zamanda kaynak yüzeyinde oluşan kıvrımlı çapak kalınlığı artmıştır. Optik mikroskop incelemelerinde, 710-900-1120/100 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde kusur görülmemiştir. 710-900/80-50 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde tünel şeklinde porozite tespit edilmiştir. Yetersiz metal akışı ve düşük sıcaklık karıştırma bölgesinde porozite oluşumuna neden olmuştur [16]. Karıştırma esnasında, karıştırma bölgesinde plastik



Şekil 2. Kaynaklı Al levhaların yüzey ve optik mikroskop görüntüleri (Images of optic microscope and surface of the welded Al sheets)

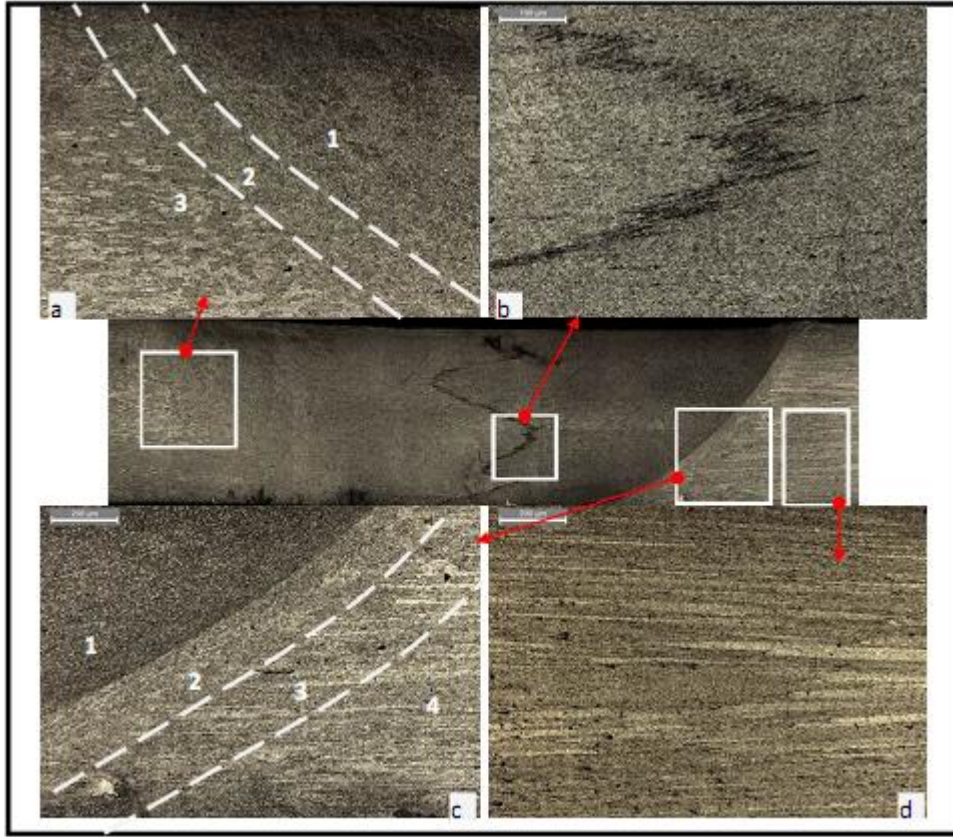
akıcılık kazanan metal yukarı doğru çıkma eğilimindedir. Karıştırıcı uç dalma derinliği ve/veya basınç optimum seviyede ayarlanmazsa akıcılığı yüksek metal karıştırıcı uç omzu vasıtasıyla kaynak yüzey hattına sıvanarak karıştırma bölgesinde hacimce azalmaya neden olur. Bu durum da karıştırma bölgesinde tünel şeklinde porozite olumuna neden olduğu düşünülmektedir.

1120/80-50 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde meydana gelen birleşim kusurları düşük dönme hızlarına (710-900 devir/dakika) oranla daha az olduğu belirlenmiştir. Artan dönme hızı karıştırma bölgesinde metalin plastik akıcılığını artırmış ve porozitesiz bir kaynak kesiti oluşmuştur. Ancak, Resim 2 h ve ı'da karıştırıcı uç dalma derinliği ve/veya basınç aşırı seviyede olduğu için karıştırıcı uç levhanın alt yüzey bölgesinde kusur oluşmuştur. Karıştırıcı ucun batma derinliği tüm birleştirilen levhalar için aynı değildir. Bu durum karıştırıcı uç batma derinliği kontrolünün kaynak esnasında zor olmasından kaynaklanmıştır. Bu parametrelerde birleştirilen levhaların karıştırma bölgesinde herhangi bir kusur görülmemiştir.

Resim 3'de 710/100 parametresi ile birleştirilen numunenin optik mikroskop resimleri verilmiştir. Kaynak kesitinde birleşim hatası görülmemiştir. Ana metale ait optik mikroskop görüntüsünde hadde

taneler tespit edilmiştir (Resim 3-d). Karıştırıcı ucun ilerleme kenarına ait optik mikroskop resminde (Şekil 3-a) TMEB (2) ve ITAB (3) görülmüştür. Karıştırıcı ucun sürtünme ısısı nedeni ile ana metalin ince uzun tane yapısı 3 nolu bölgede bozulmuş ve kabalaşmıştır. 2 nolu bölgede karıştırıcı uçun termomekanik etkisi taneleri dönme yönünde yönlendirmiştir. Bu bölgede taneler ITAB'a göre daha ince boyuttadır. İlerleme kenarına ait TMEB'in tanelerindeki termomekanik etki yığılma bölgesine kıyasla daha fazladır. Bu bölgede, karıştırıcı uçun dönme yönünde yönlendirilen tane sayısı yığılma bölgesine kıyasla daha fazladır. Karıştırma bölgesinde, dinamik yeniden kristalleşme nedeni ile taneler küçülmüştür (Resim 3-b). Karıştırıcı uçun aktif karıştırma etkisi dinamik yeniden kristalleşmeye sebebiyet vermiştir. Bunun yanında karıştırma bölgesinde karıştırıcı uca paralel bir şekilde deformasyon izlerinin olduğu tespit edilmiştir. Karıştırıcı ucun yığılma kenarına ait optik mikroskop resminde (Resim 3-c) ana metal, ITAB, TMEB ve karıştırma bölgesi açık bir şekilde görülmüştür. Bu kenardaki ITAB'ın tanelerinde kabalaşmanın bölgesel olduğu tespit edilmiştir.

Sharma ve arkadaşları [17] farklı dönme ve ilerleme hızlarının SKK'nda yüksek sıcaklık ve yoğun plastik deformasyona neden olduğunu belirlemişlerdir. Tüm kaynaklı birleştirmelerin karıştırma bölgelerinde yüksek



Şekil 3. 710/100 parametresi ile birleştirilen numunenin kesit ve detay resimleri (Section and detailed pictures of welded zone of the sheet joined with 710/100 parameter)

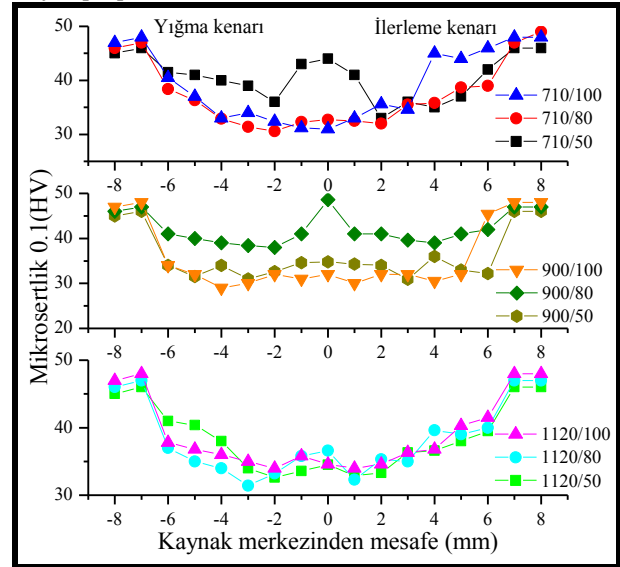
yönünde yönlendirilmiş ince uzun (yaklaşık 100-600 μm) sıcaklık ve yoğun plastik deformasyon nedeni ile

dinamik yeniden kristalleşmenin meydana geldiğini ifade etmişlerdir. Ana metalin kaba tane yapısı, karıştırma bölgesinde ince ve eş eksenli tane yapısına dönüştüğünü ve karıştırma bölgesinin TMEB ile çevrildiğini belirtmişlerdir. Xu ve arkadaşları [18] 2219-T62 Al alaşımı plakaları farklı devir ve ilerleme hızlarında birleştirmişlerdir. Ana metal tane yapısının pankek şeklinde uzamış tane yapısından ve karıştırma bölgesi tane yapısının da eş eksenli tane yapısından oluştuğunu tespit etmişlerdir.

3.2. Mikrosertlik Sonuçları (The Microhardness Results)

Resim 4’de kaynak kesitinden ölçülen mikrosertlik değerleri verilmiştir. Ana metal sertlik değeri 45 HV civarında olduğu tespit edilmiştir. Ana metalden KB doğru ilerledikçe sertlik değeri genelde azalmıştır. Karıştırıcı ucun neden olduğu sürtünme ısısı ITAB’da tavlama etkisi oluşturmuştur. Bu tavlama etkisinin ITAB’da kalıntı gerilme ve dislokasyonların azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle de ITAB’ın sertlik değeri (27-38 HV) ana metale kıyasla azalmıştır. 710/50 ve 900/80 parametreleri ile birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinin sertlik değerleri sırasıyla 47.6 ve 44 HV dir. Bu değerler diğer parametrelerle birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinin sertlik değerine kıyasla fazladır. Bu artışın dinamik yeniden kristalleşme sonucu karıştırma bölgesinde oluşan ince tanelerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu iki parametre (710/50 ve 900/80) haricindeki parametrelerle birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinde de dinamik yeniden kristalleşme sertlik değerlerini ITAB’a kıyasla azda olsa yüksektir. Ancak ana metale kıyasla düşüktür. Sertlikteki bu azalmanın sürtünme ısısının neden olduğu tavlama etkisi ve gerilimsiz tane yapısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Kaynaklı birleştirmelerin bazılarında TMEB’deki sertlik değeri ITAB’ın sertliğine kıyasla azda olsa yüksektir. Bu bölgedeki yönlendirilmiş tanelerde etkin olan plastik deformasyonun sertlik artışına katkı sağladığı düşünülmektedir. Kaynaklı numunelerin neredeyse tamamının ilerleme kenarının sertlik değerleri, yığılma kenarının sertlik değerlerinden çok az da olsa fazladır. Bu durumun yönlendirilmiş tane yapısının ilerleme kenarlarında daha etkin olmasından kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Sharma ve arkadaşları [17], ana metal, TMAZ ve HAZ’a kıyasla karıştırma bölgesinde daha ince tane yapısı olduğunu ve kaynak merkezinden uzaklaştıkça incelmış mikroyapı alanının azaldığını tespit etmişlerdir. HAZ’da ise ana metale kıyasla daha kaba tane yapısı olduğunu belirtmişlerdir. Kaynak sonrası yapılan ısıl işlemlerin mikro sertlik dağılımını şiddetli bir şekilde (radikal) etkilediğini belirlemişlerdir. FSW ile birleştirme yapıldıktan sonra karıştırma bölgesi, HAZ ve ana metalin sertliklerinin sırasıyla 115.3, 107.6 ve 135 HV olduğunun bulmuşlardır. Başka bir çalışmada çökeltme ile sertleştirilmiş Al alaşımlarında FSW kaynak merkezinin etrafında bir yumuşak bölge oluşturduğu ve bu yumuşamış bölgenin sürtünme karıştırma kaynağının

termal döngüsü esnasında takviye çökeltilerinin yeniden çözünmesi ve kabalaşmasından kaynaklandığı belirtilmiştir [19]



Şekil 4. Kaynaklı Al levhaların mikro sertlik sonuçları (Microhardness results of the welded Al sheets)

4. SONUÇLAR (RESULTS)

Bu çalışmada 3 mm kalınlığındaki ETİAL 1050 H14 Al farklı parametrelerde SKK ile birleştirilmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- Yüzeysel incelemelerde kaynak yüzey kalitesinin iyi olduğu ve karıştırıcı uç hareketinin kaynak hattı boyunca istikrarlı olduğu (boşluk ve bağlantısız ara yüzey birleşim kusurlarının olmaması) belirlenmiştir.
- 2- 710-900-1120/100 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde kusur görülmemiştir. 710-900/80-50 parametreleri ile birleştirilen parçaların birleşim ara yüzeylerinde tünel şeklinde porozite tespit edilmiştir. Yetersiz metal akışı ve düşük sıcaklık karıştırma bölgesinde porozite oluşumuna neden olmuştur.
- 3- 710/100 parametresi ile birleştirilen numunenin kaynak kesiti detay optik mikroskop resimlerinde birleşim hatası tespit edilmemiştir. Ana metale ait optik mikroskop görüntüsünde hadde yönünde yönlendirilmiş ince uzun (yaklaşık 100-600 μm) taneler tespit edilmiştir. Karıştırıcı ucun sürtünme ısısı nedeni ile ana metalin ince uzun tane yapısı ITAB’da bozulmuş ve kabalaşmıştır. TMEB’de karıştırıcı uç etkisi ile taneler dönme yönünde yönlendirilmiştir.
- 4- Ana metal sertlik değeri 45 HV civarındadır. Ana metalden KB doğru ilerledikçe sertlik değeri genelde azalmıştır. Karıştırıcı ucun neden olduğu sürtünme ısısı ITAB’da tavlama etkisi oluşturmuş ve ITAB’ın sertlik değeri

(27-38 HV) ana metale kıyasla azalmıştır. Bazı parametrelerle (710/50 ve 900/80) birleştirilen levhaların karıştırma bölgelerinin sertlik değerleri dinamik yeniden kristalleşme sonucu artmıştır. Kaynaklı birleştirmelerin bazılarında TMEB'deki yönelmiş taneler bu bölgedeki mikro sertlik değerini ITAB'a kıyasla azda olsa artırmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Erdem, M., ve Türker, M., , 7039 Al alaşımının kaynak öncesi ve sonrası mekanik ve balistik özelliklerinin araştırılması, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 26(1): 17-26, (2011).
- [2] Çam G., Al-Alaşımaları İçin Geliştirilen Yeni Kaynak Yöntemleri', *TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Kaynak Teknolojisi III. Ulusal Kongresi*, 19-20 October, İstanbul, S. 267-277, (2001).
- [3] Çam G., Sürtünme Karıştırma Kaynağı (SKK) – Al-Alaşımaları İçin Geliştirilmiş Yeni Bir Kaynak Teknolojisi, *Mühendis ve Makina*, 46(541): 30-39, (2005).
- [4] Çam G., Friction Stir Welded Structural Materials: Beyond Al-Alloys', *Int. Mater. Rev.*, 56(1): 1-48, (2011).
- [5] Çam G. and Mıstıkoğlu S. Recent Developments in Friction Stir Welding of Al-Alloys', *Journal of Materials Engineering and Performance (JMEPEG)*, 23(6): 1936-1953, (2014).
- [6] Çam G., Güçlüer S., A. Çakan, and Serindağ H.T., Mechanical Properties of Friction Stir Butt-Welded Al-5086 H32 Plate', *Mat.-wiss. u. Werkstofftech.*, 40(8): 638-642, (2009).
- [7] İpekoğlu G., Gören Kırıl B., Erim S., and Çam G., Investigation of the Effect of Temper Condition Friction Stir Weldability of AA7075 Al-Alloy Plates, *Mater. Tehnol.*, 46(6): 627-632, (2012).
- [8] İpekoğlu, G. Erim S., and Çam G., Effects of Temper Condition and Post Weld Heat Treatment on the Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Butt Welded AA7075 Al-Alloy Plates', *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 70(1): 201-213, (2014).
- [9] İpekoğlu, G. Erim S., and Çam G., Investigation into the Influence of Post-Weld Heat Treatment on the Friction Stir Welded AA6061 Al-Alloy Plates with Different Temper Conditions', *Metall. Mater. Trans. A*, 45A(2): 864-877, (2014).
- [10] C. Meran ve M. Çolak Sürtünme karıştırma kaynağı için takım tutucu tasarımı, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(3): 671-679, (2008).
- [11] G. Cam, 'Recent Developments in Friction Stir Welding', *Makine Tek.*, 120: 48-58, (2007).
- [12] F.C. Liu, B.L. Xiao, K. Wang, Z.Y. Ma Investigation of superplasticity in friction stir processed 2219Al alloy, *Materials Science and Engineering A*, 527: 4191-4196, (2010).
- [13] H. Ataoğlu, S. Mıstıkoğlu ve G. Çam, Sürtünme karıştırma kaynaklı bir Al- alaşımının içyapı ve mekanik karakterizasyonu kaynak teknolojisi, *IV. Ulusal kongresi bildiriler kitabı*, 24-25 Ekim / Kocaeli, No: 2003/339, (2003).
- [14] S. Brinckmann ve ark., *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Friction Stir Welding*, 26-28 June, Gothenburg, Sweden, (2000).
- [15] A.von Strombeck ve ark., *Proc. of the 2nd Int. Symp. on Friction Stir Welding*, 26-28 June, Gothenburg, Sweden, (2000).
- [16] Erdem M. Investigation of structure and mechanical properties of copper-brass plates joined by friction stir welding. *Int J Adv Manuf Technol*, 76: 1583-1592, (2015).
- [17] Sharma C, Dwivedi DK, Kumar P. Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir welded joints of AA7039 aluminium alloy, *Mater and Des*, 36: 379-390, (2012).
- [18] Xu W, Liu J, Zhu H, Fu L. Influence of welding parameters and tool pin profile on microstructure and mechanical properties along the thickness in a friction stir welded aluminium alloy. *Mater and Des*, 47:599-606, (2013).
- [19] Mishra RS and Ma ZY. Friction stir welding and processing [J]. *Mater Sci and Eng R*, 50: 1-78, (2005).

Ofset Baskı Merdanelerinde Meydana Gelen Değişim ve Bu Değişimin Densite Üzerine Etkisinin İncelenmesi

Bahar ASLAN^{1*}, Erdoğan KÖSE², Ulvi ŞEKER³

¹Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Matbaa Eğitimi, 06500, Teknikokullar-Ankara

²İstanbul Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Basım ve Yayın Teknolojileri, 34320 Avcılar-İstanbul

³Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, 06500, Teknikokullar / Ankara

(Geliş / Received : 13.05.2015 ; Kabul / Accepted : 29.08.2015)

ÖZ

Baskı makinelerinde mürekkep ve nemlendirme merdanelerinin kalitesi ve kullanımı baskı kalitesi ile üretim performansını etkileyen önemli faktörlerdendir. Bu çalışmanın amacı ofset baskı merdanelerinin çalışma süresince, yüzeyinde meydana gelen pürüzlülük, çap ve sertlik değişimlerini tespit etmek ve merdane aşınmalarının baskı kalitesine etkisini belirlemektir. Bu amaçla, 750.000 adet baskıya kadar her yüz binde bir, 750.000 baskı sonrasında ise 5 milyona kadar her bir milyonda bir merdane yüzeyinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Ayrıca merdane yüzeyindeki değişimin baskı kalitesine etkisini belirlemek amacıyla basılı örneklerin densite ölçümleri yapılmıştır. Baskılardan elde edilen densite ölçüm sonuçları ve yüzey pürüzlülüğü değerleri Minitab programı kullanılarak analiz edilmiştir. Bu çalışmada yapılan baskılarda optimum sonuç alınabilecek ideal merdane yüzey özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Baskı merdanesi, çap, mürekkep densitesi, sertlik, yüzey pürüzlülüğü

The Examination of the Changes Occurred on Offset Printing Roller and its Effects on Density

ABSTRACT

The quality and use of inking and dampening rollers on the printing press is one of the important factors that affect the printing quality and production performance. The aim of this study is to determine the roughness, diameter and hardness changes on the surface of offset printing rollers while operating time and indicate the effect of roller wearing on printing quality. With this aim, the changes, up to 750.000 unit printing samples per hundred thousand, after 750.000 unit printing samples one per one million, occurred on roller surface were examined. Also density measurement was done to determine the printing quality which affected by change on the roller surface. Then the density results obtained from printing samples and surface roughness values were analysed by using Minitab data analysis programme. At this study, it was tried to determine the ideal roller surface properties which provides the most suitable results for printings

Keywords: Printing roller, diameter, ink density, hardness, surface roughness

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ofset baskı sisteminde baskı kalıbına aktarılan mürekkebin miktarının belirlenmesi, merdanelerde ezilmesi, homojen şekilde dağıtılması, baskı kalıbında mürekkep filmi oluşturulması, nemlendirme suyunun dozajlanması, kalıba doğru aktarılması, kalıpta temizliğin sağlanması gibi süreçlerde rol alan öğelerin hepsi kauçuk esaslı merdanelere has tanımlanan özelliklerdir. Merdanelerin görevi mürekkebi ve nemlendirme suyunu haznelere taşıyarak kalıp yüzeyinde homojen bir tabaka oluşturacak şekilde baskı süresince aktarmaktır. Yüzey özellikleri ve ayarları bozuk olan merdaneler mürekkep ve nemlendirme suyunu gerektiği şekilde kalıp yüzeyine taşıyamaz. Böylece su ile mürekkep arasındaki denge bozulacağı

için sağlıklı baskı üretimi gerçekleşemez [1].

Merdanelerin yüzeyi kullanılan mürekkep, nemlendirme suyu, solvent, katkı maddeleri, kağıt tozları, ultraviyole (UV) ışınlar, güneş ışınları, ortamın sıcaklık ve nem oranlarından dolayı zamanla sertleşir ve yüzeyde parlama meydana gelir. Yüzeyi sertleşen merdane mürekkep ve suyu üzerinde tutamaz ve transfer işlemini gerektiği gibi gerçekleştiremez. Merdane yüzeyinde meydana gelen bu değişimler mürekkep sisteminin etkisini azaltır. Soluk baskı, densite değişimleri gibi baskı hataları meydana gelir. Yüzeyde meydana gelen parlama merdanelerin hızlı yaşlanarak, daha kısa sürede bozulmasına neden olur. Stabil olmayan su mürekkep dengesi sonucu olarak da işçilik maliyetleri, kağıt firesi ve iş süresi artar [2]. Her türlü ortam şartları altında elastomer sertliğinin tüm merdane yüzeyinde aynı değerde kalması merdanelerin kalitesini belirler. Kullanılan mürekkep ve hazne sularına göre merdane

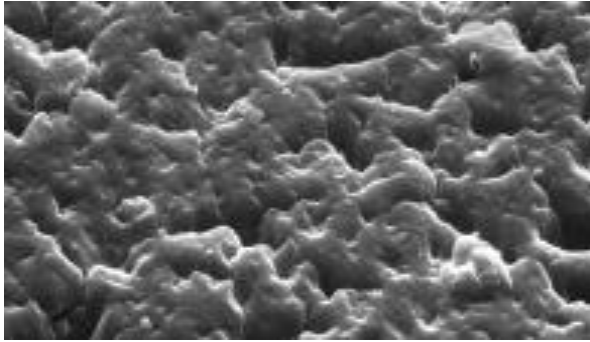
* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta:baharaslan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 135-140

sertliği belli nitelikte olmalıdır. Yüzeydeki sertleşme ile merdanelerin etkisi gittikçe azaltmakta, çiftleme ve dışarı atma problemlerine neden olmaktadır. Ayrıca merdane yüzeyinde camlanmalara yol açmaktadır. Bunun sonucu olarak, mürekkep transferi ve baskı kalitesinde dereceli bir azalma yaşanmaktadır. Gereğinden fazla yumuşak merdane ise mürekkep veya solventlerin içerisindeki agresif yapıdaki kimyasallardan daha çabuk etkilenir [3-5].

Yeni bir merdane mikroskopla yakından incelendiğinde yüzeyinde çukurluk ve yüksekliklerin olduğu görülür. Merdane yüzeyinde gözlenen bu pürüzlülük su ve mürekkep iletiminde önemli bir etkiye sahiptir (Şekil 1). Mürekkebi, suyu diğer merdanelere ve kalıp yüzeyine transferini sağlayan bu çukurlar, merdanelerin enine doğru ince uzun kanalları oluşturmaktadır [1]. Parmak yeni bir merdanelerin eksenine etrafında gezdirildiğinde yüzey tarafından tutulduğu hissedilir. Bu tutulma hareketi ofset baskının kalitesi için büyük önem taşır.



Şekil 1. Temiz merdane yüzeyi (Clean roller surface)

Baskı makinesinin kalitesini belirleyen en önemli faktörlerden birisi merdanelerin fonksiyonunu en üst düzeyde yerine getirmesidir [6]. Kauçuk merdanelerin kalitesi esnekliği ve yüzey düzgünlüğü ile

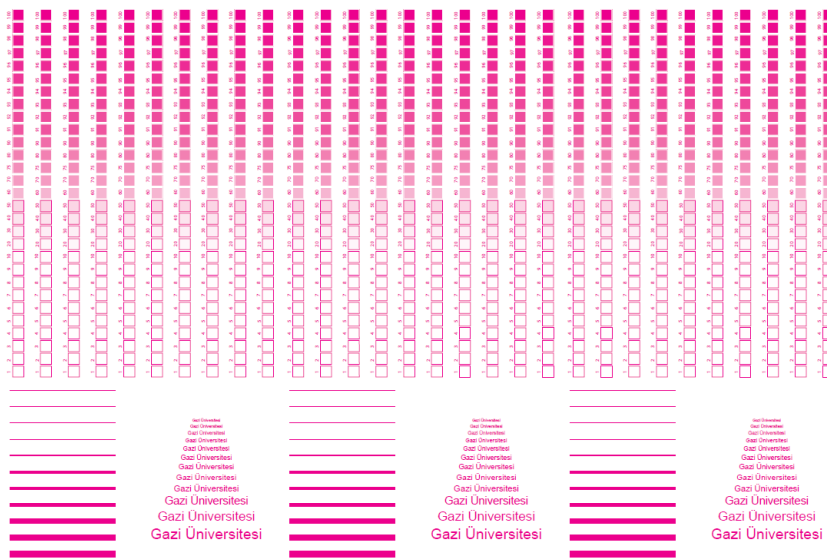
değerlendirilir. Yoğun baskı işlemi, ayarsız baskı, merdane yatak ve rulmanlarında meydana gelen bozulmalar ve solvent miktarı yüksek temizleyicilerin kullanılması sonucunda kauçuk sertliğinde, merdane ekseninde ve yüzey yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Kauçuktan beklenen kimyasal özellikler; temizleyici solventlere ve mürekkeplere karşı dayanım, sürtünmeden kaynaklanan ısınmaya karşı dirençtir. Fiziksel özellikler ise; dolgunluk, kauçuğun içerisindeki hava miktarının en aza indirilmesi, esnekliğin istenilen miktarda olması ve sürtünme mukavemetidir [6]. Merdanelerin ana problemi olan kısa kullanımdan sonra deforme olmasının sebebi, düşük çekme kuvveti ile düşük aşınma direncidir. Ayrıca iyi olmayan kauçuk karışımı ve uygun olmayan kürleşme şartları, merdane aşınma direnci ve çekme kuvvetinin düşmesine neden olmaktadır [7].

Baskı makinesinde mürekkep ve nemlendirme merdanelerinin kalitesi ve kullanımı basılı ürünün kalitesini ve üretim verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Ofset baskı için belirlenmiş olan kalite standardına (ISO 12647-2) ulaşmak için sistemde var olan tüm unsurların dikkate alınması gerekir. Bu nedenlerden dolayıdır ki merdane ve özellikleri ile ilgili araştırmaların önemi matbaacılık açısından çok büyüktür.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Test Baskı Sayfası (Test printing page)

Magenta renk basılmak üzere tek renkli olarak hazırlanan baskı sayfası, %1 ila %100 arasında açık, orta ve koyu tonları temsil edecek şekilde çeşitli tram nokta yoğunluklarının yanı sıra farklı punto değerinde yazı ve çizgilerden oluşmaktadır (Şekil 2). Magenta rengin tram noktalarının görüntülenme kolaylığı dolayısıyla test baskılar için bu renk seçilmiştir. Test



Şekil 2. Çeşitli tram ton değerlerinden oluşturulmuş test baskı sayfası (Test printing page consisting of various halftone values)

baskılarda skala üzerinde yer alan %100'lük kısımdan densitometrik ölçüm yapılmıştır.

2.2. Spektrofotometre (Spectrophotometer)

Gretag Machbet spektrofotometrenin densite ölçüm özelliği kullanılarak baskıların ölçümleri yapılmıştır (Çizelge 1). Ayrıca baskı esnasında basılan renk değerlerinin kontrolü için baskı densitometresi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Gretagmacbeth spektrofotometre teknik özellikleri (Technical specification of Gretagmacbeth spectrophotometer)

Üretici firma	X-rite
Tip	Spectroeye
Ölçüm geometrisi	0/45 ⁰
Ölçüm aralığı	3,2 mm veya 4,5 mm
Doğrusallık	± 0,01 D
Ölçüm zamanı	1,5 sn

2.3. Durometre (Durometer)

Kauçuk malzemenin sertlik birimi shoredur. Ölçüm cihazı durometredir (ISO 868). Merdane sertliği ölçümü kesinlikle makine üzerinde yapılmamalıdır. Merdane düz bir zemin üzerinde yavaş yavaş döndürülerek ölçüm yapılmalıdır [8]. Ölçümlerde Çizelge 2'de özellikleri gösterilen Mitutoyo A tipi analog durometre kullanılmıştır. A tipi durometre ile ofset mürekkep, su merdaneleri, blanket veya gravür basınç silindirlerinin yüzey sertlikleri ölçülmektedir. Hiç baskı yapılmamış, yeni merdane için kauçuk sertliği 26⁰ Shore A olarak ölçülmüştür.

Çizelge 2. A tipi analog durometre (Type A analog durometer)

Ölçülen malzeme	Yumuşak sentetik malzemeler, Normal lastik
Sertlik skala aralığı	0-100 Shore A
Ölçüm aralığı	10-90 Shore A
Standart	ISO 868, ISO 7619
Uç çapı, dayanak yüzeyi	Ø 0,79 mm, Ø 18 mm

2.4. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı (Surface Roughness Measurement Device)

Ölçümlerde Mahr firmasına ait yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılmıştır. Tüm cihazların kullandığı ölçüm prensibi bir dokungaçın numune yüzeyini taramasına dayanır. Merdane için ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), 5,6 mm örneklem uzunluğu kullanılarak belirlenmiştir. Yeni merdane için yüzey pürüzlülüğü 1,6 µm olarak ölçülmüştür.

2.5. Yöntem (Method)

Baskı sayısına bağlı olarak merdane yüzeyinde meydana gelen değişimi ve bu değişimin mürekkep densitesine etkisini belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmada; test baskıları için çeşitli tram yüzdelilerinden oluşan tek renkli (magenta) test kontrol sayfası hazırlanmıştır. Yapılan test baskıların renk ölçüm ve karşılaştırmalarında matbaacılıkta en yaygın olarak kullanılan ISO 12647-2 tabaka ofset baskı standardı dikkate alınmıştır. 35x50 cm ebadında, Adobe Illustrator programında çizgisel olarak hazırlanan baskı kontrol sayfası termal CTP yöntemiyle baskı kalıbına aktarılmıştır. Test baskılar için GTO 52 tek renkli ofset baskı makinesi kullanılmıştır. Tüm baskılarda ISO standartlarına uygun DY0 marka mürekkep ile Nevia marka 135 g/m² parlak kuşe kağıt kullanılmıştır.

Merdane yüzey değişimlerini belirlemek amacıyla, öncelikle ofset baskı makinesinde kalıba geçen kauçuk su merdanesinin yüzey pürüzlülüğü (Ra), sertlik değeri (Shore A) ve çapı ölçülmüştür. 750.000 adet baskıya kadar her yüz binde bir 750.000'den sonra 5 milyona kadar her bir milyonda (±100 baskı sayısı), toplamda 13 ölçüm yapılmıştır. Sertlik, çap ve yüzey pürüzlülük ölçümleri merdane için 9 farklı noktadan (iki uç ve orta noktası) yapılarak, sonuçların aritmetik ortalaması hesaplanmıştır. Merdane yüzey değişimlerinin baskı kalitesine etkisini belirlemek amacıyla da yukarıda belirtilen aralıklarda magenta renk test kontrol sayfaları basılmıştır. Magenta renk baskılardan elde edilen densite ölçüm sonuçları ve merdane yüzey pürüzlülük değerleri Minitab veri analiz programı kullanılarak analiz edilmiş ve sonuçlar grafikler haline getirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

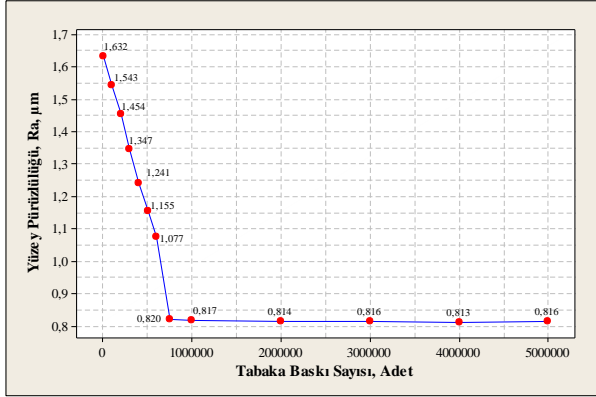
Merdane yüzey pürüzlülük, çap, sertlik ve densite ölçümleri ile ilgili elde edilen bulgular aşağıdaki gibidir.

3.1. Baskı Sayısına Bağlı Olarak Yüzey

Pürüzlülüğünde Meydana Gelen Değişim

(Changes in surface roughness depending on the print run)

Merdane yüzeyinde meydana gelen değişimleri belirlemek ve baskı kalitesine etkisini tespit etmek amacıyla kalıba temas eden kauçuk nemeleme merdanesinin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Kauçuk merdane için baskı sayısına bağlı olarak meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişimi Şekil 3'de gösterilmiştir. Ölçüm sonuçlarına göre 750 000 baskıya kadar merdane yüzey pürüzlülüğünde 1,63 µm'den 0,81 µm'ye yarı yarıya bir düşüş gözlenmektedir. 750 000 baskıdan sonra ise merdane yüzey pürüzlülüğünde ortalama 0,01'lik bir değişim görülmüştür.



Şekil 3. Baskı sayısına bağlı olarak yüzey pürüzlülüğü değişimi (Changes in surface roughness depending on the print run)

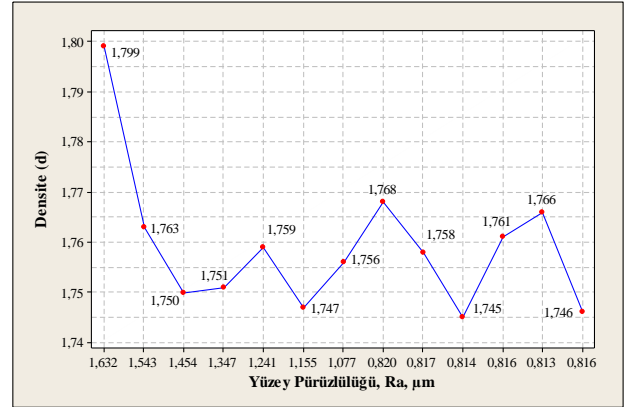
Tabaka baskı sayısına göre, ölçülen yüzey pürüzlülüklerinin arasında anlamlı bir fark olup olmadığını kontrol etmek için, tek yönlü varyans analizi yapılmıştır. 750 000 baskı sayısından sonra yüzey pürüzlülüğü stabil hale geldiği için, analizde yeni merdane (0 baskı sayısı ile belirtilen) ile 750 000 baskı sayısı aralığındaki yüzey pürüzlülük ölçümleri dikkate alınmıştır. Yapılan analizde, P değeri (istatistiksel anlamlılık) 0,02 olarak hesaplanmıştır. Buna göre P değeri 0,05'in altında çıktığı için ölçülen yüzey pürüzlülüğü değerleri arasında anlamlı bir fark vardır denir. Baskı sayısı ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiyi bulmak için yapılan regresyon analizine göre, R² değeri %98,8 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, baskı sayısı ile yüzey pürüzlülüğü arasında güçlü bir ilişki olduğunu gösterir.

Zaman içerisinde merdane yüzeyinde meydana gelen bu düzleşme literatürle paralellik göstermektedir. Yeni bir merdane mikroskopla yakından incelendiğinde yüzeyinde çukurların ve tepelerin olduğu görülür. Merdane yüzeyindeki ince kanallarda zamanla kağıt lifleri, mürekkep pigmentleri, nemlendirme solüsyonu içerisindeki kireç ve mineraller birikir ve birbiriyle kimyasal reaksiyona girerek kaynaşır. Kanalların dolmasıyla yüzeyi düzleşen merdane kalıba gerektiği gibi nemlendirme suyunu ve mürekkep transfer edemez [3]. Ayrıca yüzey pürüzlülüğü azaldığında zaman içerisinde merdane yüzeyi parlar. Yüzeyi parlayan merdane istenilen mürekkep densitesini sağlamak için daha fazla su ve mürekkebe ihtiyaç duyar. Bu da baskıda nokta kazancına neden olabilmektedir.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü-Densite İlişkisi (Relation Between Surface Roughness And Density)

Merdane yüzey pürüzlülüğü ile baskı densitesi arasındaki ilişki Şekil 4'te gösterilmiştir. Tabaka ofset baskı makinesinde, belli aralıklarla 5 milyon adete kadar yapılan magenta renk baskılardan elde edilen densite değerleri 1,74 ila 1,79 arasında değişim göstermiştir. 1,63 µm ila 0,81 µm arasında ölçülen kauçuk merdane yüzey pürüzlülük değerleri ve densite değişimine bakıldığında, merdane yüzey pürüzlülüğünün magenta renk mürekkep densitesi üzerine çok fazla etkisi olmadığı görülmektedir.

Ancak, düzenli olarak bakımları yapılmayan ve uzun süreler kullanılan kauçuk merdanelerin yüzeyinde meydana gelen çatlak ve kopmalar baskı kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kauçuk nemlendirme merdanelerinde meydana gelen deformasyon nedeniyle, merdane nemlendirme suyunu istenilen şekilde baskı kalıbına transfer edemez. Bunun sonucunda baskı yapılan kağıtların kenar bölgelerinde mürekkep densitesinde istenilenden daha düşük değer elde edilir. Baskıdaki zayıf su mürekkep dengesi kağıt üzerinde mürekkebin dağılımını negatif yönde etkiler.

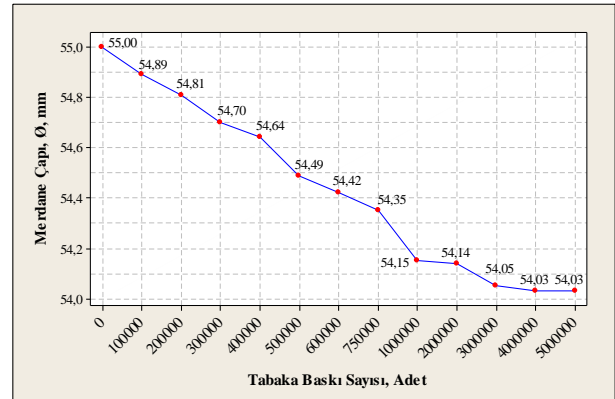


Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğü- densite ilişkisi (Relation between surface roughness and density)

3.3. Merdane Çapı ve Sertlik Değişimi (Changes In Diameter And Hardness Of Roller)

Ofset baskı kalıba geçen su merdanesinde belli aralıklarla yapılan ölçümlerden elde edilen çap ve sertlik değişimleri Şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir. Baskı sayısına bağlı olarak meydana gelen çap değişimini incelediğimizde, baskı sayısı arttıkça merdane çapında azalma görülmektedir.

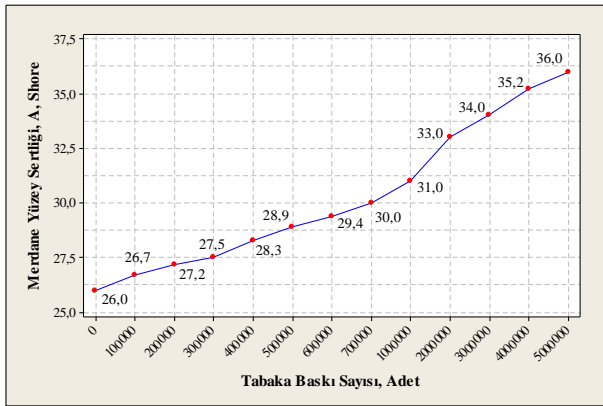
Merdane çapının ortada ve kenarlarda farklı olması kenarlarda yüksek basınca yol açmakta ve merdane kuru ve aşırı ısınmış çalışmasına neden olarak merdane bozulması hızlanmaktadır [2]. Sürekli olarak merdane boyundan daha küçük işler basılması, merdane mürekkeple temas ettiği alanlarda büzülme sebeptir [9].



Şekil 5. Baskı sayısına bağlı merdane çap değişimleri (Changes in diameter of roller depending on the print run)

Merdanelerle ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında baskıda kullanılan kimyasalların merdanede büzülme ya da şişmelere neden olduğu bilinmektedir. Özellikle alkol kullanılan sistemlerde nemlendirme merdanelerinde %11'lik bir büzülme meydana geldiği daha önce yapılan araştırmalarda da belirtilmiştir [1]. Çapını koruyan merdane ile mürekkep transferi daha iyi olur. Yapılan ölçümler sonucunda baskı sayısına bağlı olarak merdane yüzeyinde sertleşme olduğu görülmüştür. 26⁰ shore A ölçülen yeni merdane zaman içerisinde kullanıma bağlı olarak yaklaşık 36⁰ shore A değerine yükselmiştir (Şekil 6).

Baskıda kullanılan mürekkep, yıkama solventleri, nemlendirme suyu, kağıt ve hatta matbaanın atmosferi zamanla merdane yüzeyini sertleştirir. DIN standardına göre ± 5 Shore'luk bir sertleşme normal kabul edilmektedir. Olması gerekenden daha sert merdane merdane baskı izine göre ayar yapılabilmesi için sertleşen merdane merdane basıncını 10 kat arttırmak gerekir. Bu da makine içinde daha fazla enerji ve daha fazla ısı anlamına gelir. Merdanelerde fazla basınç nedeniyle oluşan ısı mürekkep vizkozite değişikliklerine sebebiyet verir. Ayrıca yüzeyi sertleşen merdane mürekkep ve suyu üzerinde tutamaz, transfer işlemi istenildiği gibi gerçekleşmez. Merdanelerdeki zaman içerisindeki sertleşme merdane merdane çapsal olarak daraldığını göstermektedir. Artmış bir sertlik derecesi merdane yüzeyinde parlamalara neden olan birikmiş sert film tabakasının da işaretidir [3,10].



Şekil 6. Baskı sayısına bağlı merdane sertlik değişimi (Changes in hardness of roller depending on the print run)

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada merdane yüzeyinde meydana gelen değişimler ve baskı kalitesine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmalardan elde edilen bulgular değerlendirildiğinde;

750 000 baskıya kadar her yüzbin baskıda bir yapılan kauçuk merdane yüzey ölçümlerine göre, 750 000 baskıya kadar merdane yüzey pürüzlülüğünde 1,63 μm 'den 0,81 μm 'ye yarı yarıya bir düşüş gözlenmektedir. 750 000 baskıdan sonra ise merdane yüzey pürüzlülüğünde ortalama 0,01'lik bir değişim görülmektedir. Buna göre, baskı sayısı arttıkça merdane

yüzeyinde düzleşme meydana gelmektedir. Tabaka baskı sayısına göre, ölçülen yüzey pürüzlülüklerinin arasında anlamlı bir fark olup olmadığını kontrol etmek için yapılan tek yönlü varyans analizine göre, P değeri 0,02 olarak hesaplanmıştır. Hesaplan P değeri 0,05'in altında olduğu için tabaka baskı sayısına göre ölçülen merdane yüzey pürüzlülükleri arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir. Regresyon analizi ile elde edilen %98,8 oranındaki R² değeri ise, baskı sayısı ile yüzey pürüzlülüğü arasında güçlü ilişkiyi kanıtlamaktadır.

Baskı kalıbına temas eden kauçuk nemlendirme merdanesinde baskı sayısına bağlı olarak meydana gelen çap değişimi incelendiğinde, baskı sayısı arttıkça merdane çapında yaklaşık 1 mm'lik bir azalma görülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda kalıba temas eden kauçuk nemlendirme merdanesinin yüzeyinde sertleşme olduğu görülmüştür. 26⁰ Shore A ölçülen yeni merdane kauçuk sertliği zaman içerisinde baskı sayısına bağlı olarak 36⁰ Shore A değerine yükselmiştir. Kalıba temas eden nemlendirme merdanelerinde sertlik değeri, 24⁰-26⁰ Shore A aralığında olmalıdır. Buna göre 36⁰ Shore A sertlik değerine yükselmiş nemlendirme merdanesinin yenisi ile değiştirilmesi gerekir.

Tabaka ofset baskı makinesinde, belli aralıklarla 5 milyon adete kadar yapılan magenta renk baskılardan elde edilen densite değerleri 1,74 ila 1,79 arasında değişim göstermiştir. 1,63 μm ila 0,81 μm arasında ölçülen kauçuk merdane yüzey pürüzlülük değerleri ve densite değişimine bakıldığında, merdane yüzey pürüzlülüğünün magenta renk mürekkep densitesi üzerine çok fazla etkisi olmadığı görülmektedir. Yapılan çalışma neticesinde, merdane yüzeyinde meydana gelen yaklaşık 0,82 mikron'luk yüzey pürüzlülüğü değişiminin, mürekkep densitesi üzerine olumsuz bir etkisi tespit edilmemiştir.

Kauçuk merdane merdane bu yüzey değişimleri dolayısıyla tram noktalarında bozulmalar ve baskıda kağıt fire oranı artmaktadır. Yüzey özellikleri bozulmuş merdane ile çok renkli baskılarda mürekkep su dengesinin kurulması ve korunması zorluğundan, bu merdaneler tek renkli ve tire baskılarda kullanılması önerilmektedir. Zamanın çok değerli olduğu matbaalarda işgücü verimliliğini sağlamak, temiz baskıya geçişleri hızlandırmak, fire oranını azaltmak, zamandan ve malzemeden en üst seviyede yararlanmak amacıyla baskı makinesinin önemli bir elemanı olan merdanelerin bakım ve kullanımına dikkat edilmelidir.

5. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje Kodu: 07/2012-35) desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Özer, S. Ofset Baskıda Kullanılan Kimyasalların Kauçuk Esaslı Merdane Ve Blanketlere Etkisinin Tespiti, **Yüksek**

1. **Lisans Tezi**, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2010).
2. Böttcher. Merdane Bakım Önerileri, UV Mürekkep.Böttcher Türkiye, (2008).
3. Roseman, T., Ulsan, M. Merdanelerin Basım Üretimindeki Önemi ve Kalitesi, **2. Uluslar Arası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu**, Ankara, 25-25 Ekim, (2007).
4. Lloyd P., Dejidas Jr. Sheetfed Offset Press Operating. USA, 225-277, (2005).
5. Internet: Printwiki. (2013). URL: <http://printwiki.org/durometer>. Erişim Tarihi: 25 Mayıs 2013
6. Köse E., Uğur E. Eskimiş Kauçuk Merdanelerin Yenileme İşleminin Analizi, **1. Uluslar Arası Matbaa Teknolojileri Sempozyumu**, 138-150, Ankara, 29-30 Eylül, (2003).
7. Kapsız, D. Optimization Of Printing Roller Rubber Manufacturing, **Yüksek Lisans Tezi**, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, (2009).
8. Machphee J. (1998). Fundamentals Of Lithographic Printing, **GATF**, 77-146.
9. Felix Böttcher GmbH & Co. KG. Tabaka ofset seminer notları. Böttcher Türkiye, Kasım, (2007).
10. Asteks Merdane. Merdane Teknik Bilgileri. İstanbul: Güzel Sanatlar Matbaası, (2007).

Dynamic and Thermodynamic Examination of a Two-Stroke Internal Combustion Engine

Duygu İPÇİ*, Halit KARABULUT^a

^aGazi University Technology Faculty Automotive Engineering Department

(Geliş / Received : 27.06.2015 ; Kabul / Accepted : 24.07.2015)

ABSTRACT

In this study the combined dynamic and thermodynamic analysis of a two-stroke internal combustion engine was carried out. The variation of the heat, given to the working fluid during the heating process of the thermodynamic cycle, was modeled with the Gaussian function. The dynamic model of the piston driving mechanism was established by means of nine equations, five of them are motion equations and four of them are kinematic relations. Equations are solved by using a numerical method based on the Taylor series. By means of introducing practical specific values, the dynamic and thermodynamic behaviors of the engine were examined. Variations of several engine performance parameters with engine speed and charging pressure were examined. The brake thermal efficiency, cooling loss, friction loss and exhaust loss of the engine were predicted as about 37%, 28%, 4%, and 31% respectively for 3000 rpm engine speed and 1 bar charging pressure. Speed fluctuation was found to be 3% for 3000 rpm engine speed and 45 Nm torque.

Keywords: Two stroke engine, thermodynamic analysis, dynamic analysis, power and torque estimation, speed fluctuations.

ÖZ

Bu araştırmada iki zamanlı bir içten yanmalı motorun dinamik ve termodinamik birleşik analizi yapılmıştır. Termodinamik çevrimin yanma süresince çalışma akışkanına verilen ısının değişimi Gauss fonksiyonu ile modellenmiştir. Piston hareket mekanizmasının dinamik modeli dokuz denklemlerle modellenmiş olup bunlardan beşi hareket denklemleri, dördü kinematik ilişkidir. Dinamik ve termodinamik modeli oluşturan denklemler Taylor serisine dayanan bir yöntemle çözülmüştür. Gerçekçi spesifik değerler kullanılmak suretiyle motorun dinamik ve termodinamik davranışları incelenmiştir. Muhtelif motor performans parametrelerinin motor hızı ve şarj basıncı ile değişimi incelenmiştir. 3000 rpm motor hızı ve 1 bar dolgu basıncı için termik fren verimi, soğutma kayıpları, sürtünme kayıpları ve egzoz kayıpları sırası ile %37, %28, %4 ve %31 olarak belirlenmiştir. 3000 rpm motor hızı ve 45 Nm tork için hız dalgalanmaları %3 olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İki zamanlı motor, termodinamik analiz, dinamik analiz, güç ve tork tahmini, hız dalgalanmaları

1. INTRODUCTION

In piston engines the thermodynamic cycle is accomplished either by two or four reciprocating motions of the piston. The engines accomplishing a cycle by two reciprocating motions of the piston are named as two-stroke engines. The upward motion of the piston is a compression process while the downward motion is an expansion process. The discharge of burned gases and recharge of the fresh air, or air-fuel mixture, into the cylinder is performed towards the end of expansion process [1]. It is generally accepted that the two-stroke internal combustion engine was invented by Sir Dugold Clerk in Britain at the end of the 19th Century [1]. For the current situation the two-stroke internal combustion engines are used in a large variety of light and heavy duties.

In comparison with four stroke engines, the two-stroke engines have some advantages, such as simple structure, lower cost, lighter weight, higher specific power, higher speed, simple maintenance, capability of working at different positions, capability of being designed at very small scales and so on. It has also some disadvantages, such as relatively lower thermodynamic efficiency, higher HC and CO emissions as well as toxic pollutants

[2-5], lower life time, specific lubricant requirement, wastage of some fuel through the exhaust port, specific crank case configuration requirement and so on. Both gasoline and Diesel fueled engines are able to be designed as a two-stroke engine [6].

Two-stroke engines are able to be designed with and without a valve mechanism. In engines having no valve mechanism, recharging of the fresh air into the cylinder and discharging of the exhaust gases out of the cylinder is accomplished by ports taking part on the cylinder wall. The opening and closing of the ports are performed by the piston motion [6]. The engines involving a valve mechanism are structurally complicated as four stroke engines but, via the valve mechanism, the rate of fresh air charged into the cylinder is increased as well as avoiding piston failures. In two-stroke engines, the work generation, discharging of the burned gases and recharging of the fresh air into the cylinder take part in the same stroke. Therefore, fresh air requires a pre-compression process into a pre-compression chamber. Pre-compression may be performed by using a stepped-piston, a displacer, a blower, a pump or a compressor [6]. Beside these, the volume variation in the crankcase, due to the reciprocating motion of the piston, creates an adequate amount of pressure if the crankcase is properly

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: duyguipci@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 141-154

designed. In most of the two-stroke light-duty engines charging of the fresh air into the cylinder is performed by crankcase pressure. Obviously, in these types of engines the crankcase performs as a pre-compression chamber. In these engines, the flow of the fresh air into the crankcase may be performed by natural inspiration or by forced flow called as supercharging. Charging of fresh air into the cylinder via pre-compression process is an irreversible process and reduces the thermodynamic efficiency of the two-stroke engines except the case where the pre-compression is performed via a turbocharger. The two-stroke engines charged with crankcase pressure may have at most 1.5 times the power of four-stroke engines having the same cylinder volume if the flow of air into the crankcase is a natural inspiration. In the case of supercharging, the power of a two stroke engine approaches to a value of almost 2 times the power of four stroke engines.

The two-stroke engines charged with crankcase compression are simplest in structure. The crankcase compression is applicable only to the two-stroke gasoline engines. In these engines the exhaust port is located at somewhere before the bottom dead center of the cylinder. Discharging of exhaust gases starts when the upper piston ring coincides with the upper end of the exhaust port. Discharge of exhaust gases is a transient flow in the form of a pulse. Determination of discharging period of exhaust gases is a comprehensive fluid mechanic problem [7,8]. The intake port is located at somewhere a little lower than the exhaust port. After pulsing of exhaust gases, the intake port is disclosed by the piston top. For a certain time interval, both the exhaust port and intake port remains open. In terms of crankshaft angle, this period is called as scavenging angle [1]. The flow of fresh air from the crankcase to the cylinder is also a transient flow in the form of a pulse. In two-stroke engines the increase of the engine speed reduces the pulsing period of both exhaust gases and fresh air and reduces the efficiency of the charging. To address this problem, the high speed engines are designed with a larger crankcase compression ratio as well as designing ports that opens relatively earlier [1]. In two-stroke engines both of these design alterations have reducing effects on the engine thermal efficiency. In engines with moderate speeds, the statistical value of the crankcase compression ratio is about 1.4-1.5 [1]. In terms of the crank angle, the opening time of the exhaust port is about 50° - 70° before the bottom dead center of the cylinder [1,6,9]. In two-stroke engines charged with crankcase compression, the flow of fresh air into the crankcase is performed through a piston controlled valve or a pressure controlled check-valve named as reed valve. In the engines with crankcase compression the crankcase cannot be used as a lubricant reservoir [10]. Therefore, the lubrication of sliding surfaces of the piston driving mechanism is performed via mixing some lubricant into the gasoline. The lubricant mixed into the gasoline reduces the octane number of the gasoline and, therefore, the compression

ratio of the two-stroke engines is lower than that of four-stroke engines. The crankcase compression engines are not very useful for heavy duties. Heavy duty engines are mostly designed with pressurized lubrication and they use the crankcase as lubricant reservoir.

Some of the experimental investigations conducted in recent years on the internal combustion engines are concentrated on the heat release processes. According to the standard thermodynamic cycle of Otto engines, the total heat is given to the working fluid at the top dead center of the cylinder at a constant volume and the pressure of the working fluid increases a few times while the volume was constant. In practice however, this is a harmful phenomenon named as combustion knock. Combustion knock occurs in both Otto and Diesel engines. If the release of the heat is performed along a certain time interval, the knocking is avoided. Experimental investigations indicates that if the heat release period takes part in -5° and 25° of crankshaft angle around the top dead center, the combustion knock is avoided and the highest thermal efficiency is obtained [1,4,9,11,12]. The heat release interval of (-5°)-($+25^{\circ}$) is appropriate for both Otto and Diesel engines. As known, the cetane and octane numbers are criterions indicating knocking resistance of Diesel fuel and gasoline respectively. The compression ratio of the Otto engines is restricted to 11 by knocking.

Piston driving mechanism of the two-stroke engines is consisted of a piston, a connecting rod and a crankshaft. For the design of a pre-balanced crankshaft, a complete dynamic analysis of the piston driving mechanism is needed. In a dynamic analysis the gas pressure exerting onto the piston is an initially known function. The gas pressure may be obtained from an existing engine by measurement [13], or it may be determined by a thermodynamic analysis. The numerical data obtained by measurement is not useful to use in a dynamic analysis directly and require fitting with a Fourier series [13-15]. When it is fitted with a Fourier series, due to the nature of the Fourier series, the originality of the gas pressure is lost. Because of this the combined thermodynamic-dynamic analysis is seen more useful. In combined thermodynamic-dynamic analysis the gas force exerting onto the piston is calculated simultaneously with the other forces and moments involved by the analysis. For the calculation of gas force the first law of the thermodynamic given for closed systems is used [16].

A combined thermodynamic-dynamic analysis can be used for estimating the gas pressure, gas temperature, engine power, thermal efficiency, port timing values, speed-tork and speed-power characteristics of the engine, the transient and steady behaviors of the engine, mechanical design criterions such as strains, stresses, moments, forces and frictions, crankshaft speed fluctuations etc. The combined thermodynamic-dynamic analysis also enables the optimization of the

engine components from the weight or volume point of view.

In a dynamic system each component under force may have flexibility. Between sliding surfaces there may be working clearances as well. If the all of these flexibilities are taken into account, the degree of freedom of the dynamic model may become too large and too much time and effort is needed. To avoid this difficulty, dynamic analyses are restricted to examine the specific aspects of the dynamic systems. Similarly the components of piston driving mechanism and its different aspects are investigated by preparing specific dynamic models [17-20].

In four stroke engines having a valve mechanism, the friction losses are estimated as about 15% of indicated power [21,22]. In two-stroke engines, having no valve mechanism, the friction losses are significantly lower than that of four stroke engines [23]. In engines equipped with roll-bearings, the friction losses are further decreased. For two-stroke engines charged with crankcase compression, all of the friction losses are estimated to be (5-10)% of the indicated work.

In two-stroke engines charged with crankcase compression the highest frictional loss appears at the piston-cylinder liner interface. The total friction force exerted on a piston is mainly caused by skirt friction and ring-pack friction. The piston skirt and ring-pack comprise both hydrodynamic and boundary frictions (asperity friction). The simplest approximation used for calculating the hydrodynamic friction between piston skirt and liner is the Couette approximation. Ring-pack friction depends on many physical factors such as gas pressure, secondary motion of the piston, static and dynamic distortions on the cylinder bore, starvation of the lubricant around the ring contact surface, the non-axisymmetrical form of rings in the cylinder bore and so on [24-27]. About the top and bottom dead centers of the piston stroke, the tilting motion of the piston causes a higher asperity friction. At mid regions of the piston stroke, the hydrodynamic friction is dominant. The experimental measurement conducted without the working gas pressure indicates that the sum of asperity friction and hydrodynamic friction could be accepted as constant [18,26].

In two-stroke engines charged by the crankcase compression, the connection of the crankshaft with the conrod and the engine body, or the crankcase, is made with roll bearings. In very small engines the ball type, in relatively large engines needle type roll bearings are used. To calculate the roll bearing friction, 5 different approximation models were developed, such as rotary coulomb friction model, bearing/seal viscous model, Palmgren model, ATEC bearing model and SKF bearing model [28]. However these are not the only approximations found in the whole of the roll bearing literature. In a roll bearing sources of the friction are: elastic hysteresis in rolling, sliding due to deformation of contacting elements and/or bearing geometry,

spinning of rolling elements, gyroscopic pivotal motion of rolling elements, sliding between cage and rolling elements and between cage and bearing rings, viscous friction due to lubricant motion and seal friction. The hydrodynamic friction is related to the speed of the shaft and in some cases it may become 98% of the total friction. The variation of the other components of friction with speed may be negligible [29]. The friction caused by sliding due to deformation of contacting elements and/or bearing geometry has a strong dependency on normal forces [30,31].

In most of the theoretical studies related to the piston driving mechanism dynamic, conducted so far, the conrod mass is divided into two parts and one of them is added to the piston as the other is added to the crankshaft mass [26,32,33,34]. There are also a few numbers of studies treating the conrod as a separate part of the dynamic system [35]. In these studies the conrod motion was described by three equations which are translational x and y momentum equations and angular momentum equation around the gudgeon pin. This model provides more precise prediction of the mass of counter balance weights and their positions.

One of the important aspects of the thermodynamic-dynamic analysis is the inclusion of heat transfer between the working gas and cylinder walls. The largest amount of the heat transfer occurs around the combustion chamber. The determination of the heat transfer coefficient in the engine cylinders is a comprehensive study field including theoretical and experimental analysis. The correlation given by Eichelberg and Nusselt are most recommended approximation for engine heat transfer calculations [16,36].

This analysis is intended to estimate the thermodynamic performance characteristics and the optimization of mechanical quantities of a two-stroke gasoline engine charged with crankcase compression. The dynamic model has one degree of freedom and involves 5 motion equations as well as kinematic relations. The present analysis involves three different novelties. In some of previous analysis the gas pressure was obtained from an empirical relation which is Fourier expansion of experimental data obtained from a test engine. Also, some of previous analysis uses theoretical data generated from standard ideal gas cycles. In the present analysis the gas pressure have been obtained from a relation derived from the first law of the thermodynamic which involves the heat release rate and heat transfer to the surrounding walls. Another novelty is the use of a heat release rate profile to provide heat for the thermodynamic cycle involved by the present analysis. The heat release rate profile used in the analysis has been established by means of resembling the experimental heat release rate profiles presented in some latest experimental works [3,4]. The third novelty is that in the present analysis the conrod motion was modeled by means of three motion equations differently from previous analysis where the conrod was split into

two parts and parts were added to crankpin and piston masses. The analysis presented here will enable the design of pre-balanced crankshafts.

2. MATHEMATICAL MODEL

Figure 1 illustrates mechanism and some of nomenclature used in the analysis. The crankshaft center is the center of the general coordinate system. The initial position of the mechanism corresponds to $\theta = 0$. For angular displacements and moments, the anticlockwise direction was assumed to be positive. For the situation seen in Figure 1, both the crankshaft and conrod rotates in anticlockwise direction. All of the components are assumed to be rigid. Secondary motions caused by working clearances are disregarded. Equations are derived by Newton method.

Regarding the conrod force, hydrodynamic friction, the piston skirt load-dependent friction and piston ring pack frictions exerting on the side surface of the piston and gas forces exerting on the top and bottom surfaces of the piston, the motion equation in y coordinate may be written as

$$F_{by} = \left(m_p \frac{d^2 y_p}{dt^2} + F_w - F_{ch} + C_p \dot{y}_p + F_{\infty} \text{sgn}(\dot{y}_p) + C_s F_{bx} \text{sgn}(\dot{y}_p) \right) \quad (1)$$

where the ring pack and skirt asperity frictions are indicated by the terms $F_{\infty} \text{sgn}(\dot{y}_p)$ and $C_s F_{bx} \text{sgn}(\dot{y}_p)$ respectively [30].

The mass center of the conrod displays a two dimensional motion. Except this, the conrod displays a rotational motion around the gudgeon pin as well. The complete motion of the conrod can be described by translational equations of motion in x and y coordinates and the angular equation of motion around the gudgeon pin. The translational motion equations in x and y coordinates are

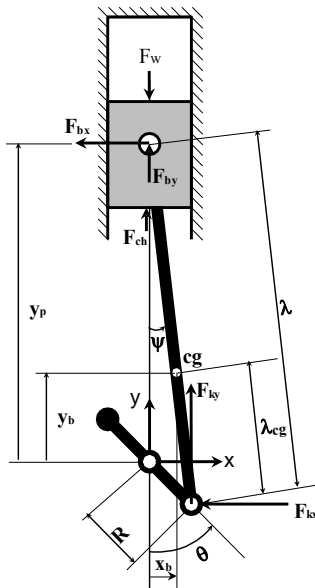


Figure 1. Mechanism, coordinates and nomenclature

$$F_{bx} = m_b \frac{d^2 x_b}{dt^2} + F_{kx} \quad (2)$$

$$F_{ky} = m_b \frac{d^2 y_b}{dt^2} + F_{by} \quad (3)$$

The big and small ends of the conrod are connected to the crankpin and gudgeon pin. The friction at the gudgeon pin can be disregarded. However, the friction at the big end bearing may be significant. By regarding forces exerted by the crank pin and the moments generated by the bearing hydrodynamic and load-dependent frictions, the angular motion equation of the conrod is derived as

$$F_{kx} = \frac{-I_b \frac{d^2 \psi}{dt^2} + F_{ky} \lambda \sin \psi + C_{km} (\dot{\theta} - \dot{\psi}) + M_f}{\lambda \cos \psi} \quad (4)$$

where M_f indicates the load-dependent components of the roll bearing frictions. At low speeds M_f varies a bit with speed but, its variation terminates after a certain value of speed and becomes stable [31]. The sum of components of the roll bearing frictions except the hydrodynamic component may be calculated by the SKF model. The load exerting on the conrod roll bearing should be the resultant of F_{ky} and F_{kx} which are seen in Figure 1. In this analysis the SKF needle bearing numbered with NK 35/30 was found to be appropriate for the crank pin and main journals of the two-stroke engine having 80 mm piston diameter. By substituting the all specific values of the needle bearing of NK 35/30 into the SKF model [37], the frictional tork of the crankpin needle bearing was stated as

$$M_f = 0.5 \times 0.0022 \times 0.035 \sqrt{F_{ky}^2 + F_{kx}^2} \quad (5)$$

By regarding conrod forces, the frictional moment in conrod big end bearing, the frictional moment in the main journal bearing, starter moment and the external moment applied by the foundation, the crankshaft motion equation was derived as

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{(M_s - M_q - F_{ky} R \sin \theta + F_{kx} R \cos \theta - C_{km} (\dot{\theta} - \dot{\psi}) - C_h \dot{\theta} - M_f - M_\tau)}{I_{kr}} \quad (6)$$

where M_s and M_q are taken as constant values. M_τ is in the same category with M_f [31] and can also be calculated by SKF model. If the same needle bearing identified above is used, the friction moment becomes

$$M_\tau = 0.5 \times 0.0022 \times 0.035 \sqrt{\frac{F_{ky}^2}{4} + \frac{F_{kx}^2}{4}} \quad (7)$$

In Equation (6), C_{km} and C_h , are hydrodynamic friction coefficients with constant values. The values of

C_{km} and C_h can be determined by using the SKF friction model as well.

The kinematic relations used for the calculation of; the angle between the conrod and cylinder axis, the vertical distance between the crank center and piston top, the vertical distance between the crank center and the conrod mass center and the horizontal distance between the crank center and conrod mass center are

$$\psi = \arcsin \left[\frac{R}{\lambda} \sin \theta \right] \quad (8)$$

$$y_p = -R \cos \theta + \lambda \cos \psi + h_p \quad (9)$$

$$y_b = -R \cos \theta + \lambda_{cg} \cos \psi \quad (10)$$

$$x_b = (\lambda - \lambda_{cg}) \sin \psi. \quad (11)$$

For the calculation of the in-cylinder pressure, an equation was derived from the first law of the thermodynamic. For the systems with constant mass, the first law of the thermodynamic is given as

$$dq = du + pdv. \quad (12)$$

The perfect gas law is given as

$$dT = \frac{1}{\Re} d(pv). \quad (13)$$

Equation (12) may be rearranged as

$$\frac{dq}{T} = \frac{\Re}{k-1} \frac{dp}{p} + \left[\frac{\Re k}{k-1} \right] \frac{dv}{v}. \quad (14)$$

In last equation q indicates the net heat calculated as

$q = q_p - q_w$, where q_p is the heat generated by the combustion and q_w is the heat loss via the heat transfer between the gas and walls surrounding the gas. Equation (14) can be arranged as

$$\frac{dp}{p} + k \frac{dv}{v} = (k-1) \frac{d(q_p - q_w)}{pv}. \quad (15)$$

When the last equation is integrated between two thermodynamic states of the gas, $i-1$ and i

$$p_i = \frac{p_{i-1} V_{i-1}^k}{V_i^k} e^{\left[(k-1) \int_1^2 \frac{dq_p}{p_i V_i} - (k-1) \int_1^2 \frac{dq_w}{p_i V_i} \right]} \quad (16)$$

is obtained. The last equation can be rearranged as below, by assuming that the gas in the cylinder is not 1 kg and, between states $i-1$ and i , its thermodynamic values change at a differential order,

$$p_i = \frac{p_{i-1} V_{i-1}^k}{V_i^k} e^{\left[\frac{k-1}{p_i V_i} \Delta Q_p - \frac{k-1}{p_i V_i} \Delta Q_w \right]}. \quad (17)$$

Via the cooling law of Newton, last equation can be rearranged as

$$p_i = \frac{p_{i-1} V_{i-1}^k}{V_i^k} e^{\left[\frac{k-1}{p_i V_i} \Delta Q_p - (k-1) h A_i \left(\frac{1}{m \Re} - \frac{T_w}{p_i V_i} \right) dt \right]} \quad (18)$$

In the last equation if p_i on the right is replaced with

p_{i-1} , the equation transforms to a more useful form. The error caused by this perturbation is too small to influence the accuracy of the pressure.

In this study, the heat produced during a differential rotation of the engine was correlated with Gauss function as

$$\Delta Q_p = C \cdot e^{-\Omega[\theta - \varphi - (n-1)2\pi]^2} \omega \Delta t. \quad (19)$$

In this equation φ , Ω and C are constants qualifying the location of maximum heat production, the duration of heat production and the amount of heat production. n is an integer indicating the number of strokes. If the last equation is integrated over a cyclic period, the relation: $C = (Q_p \Omega^2) / \pi$ is obtained which indicates that C

and Ω are interrelated.

For the calculation of heat transferred from the gas to the wall, the Eichelberg and Nusselt relations

$$h = \frac{77.9 \sqrt{pT}}{10000} V_p, \quad (20)$$

$$h = 5,388 \times 10^{-4} (1 + 1,24 V_p) T^{1/3} p^{2/3} + 0,421 \left[\frac{\left(\frac{T}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_w}{100} \right)^4}{T - T_w} \right] \quad (21)$$

were used [16,36]. In these equations V_p is the average speed of the piston and initially not known. In last two equations if V_p is replaced with $0.64 R \dot{\theta}$, equations becomes more eligible to use in a simulation program.

Due to the high speed motion of crankshaft and other components, the air in the crankcase has a large enough circulation velocity. Because of this velocity, the heat transfer coefficient between the crankcase wall and the air is large enough. Therefore the pre-compression in the crankcase may be assumed as an isothermal process. Regarding this situation the pressure in the crankcase may be defined by a piecewise function as

$$p_i = \begin{cases} 10^5, & 0 \leq \theta \leq \pi \\ \frac{p_{i-1} V_{i-1}}{V_i} & \pi \leq \theta \leq 2\pi \end{cases} \quad (22)$$

If the opening and closing times of the intake and exhaust ports are taken into account, the last equation is not a precise definition of the crankcase pressure however; for the sake of simplicity of simulation program, the last equation is preferred.

If the forces exerting on the engine body are minimized, the vibration of the engine body is minimized. The

resultant of forces exerting on engine body may be determined via setting static balance equations in y and x directions. The external forces exerting on the engine body are the external support forces, gas forces in crankcase and working volumes, friction forces inside the engine block and forces conducted to the engine block via the crankshaft and piston contact surfaces. The static balance equations of the engine body in y and x direction may be written as

$$F_{zy} + F_w - F_{ch} - C_p \dot{y}_p - F_{\infty} \operatorname{sgn}(\dot{y}_p) - C_s F_{bx} \operatorname{sgn}(\dot{y}_p) - F_{ky} = 0 \quad (23)$$

$$F_{zx} + F_{kx} - F_{bx} = 0. \quad (24)$$

By combining Equations (23),(3) and (1)

$$F_{zy} = m_b \frac{d^2 y_b}{dt^2} + m_p \frac{d^2 y_p}{dt^2} \quad (25)$$

is obtained. By combining Equations (24) and (2)

$$F_{zx} = m_b \frac{d^2 x_b}{dt^2} \quad (26)$$

is obtained. Last two equations indicate that, the resultant forces exerting on the engine body are inertia forces only. The forces described by the last two equations work to vibrate the engine block. In order to balance these forces, counter weights are used. A counterweight generates a centrifugal force in the positive radial direction. If the counter weight is situated opposite to the crank pin, the centrifugal force generated by the counterweight balances the force generated by piston and conrod. The vertical and horizontal components of the centrifugal force generated by counter weight may be defined as

$$F_{dy} = m_d \dot{\theta}^2 R_d \cos \theta \quad (27)$$

$$F_{dx} = m_d \dot{\theta}^2 R_d \sin \theta \quad (28)$$

where m_d and R_d are the mass and radial distance of the counter weight. From the numerical solution point of view, equations derived above are an initial value problem. The boundary conditions of crankshaft angle and gas pressure are

$$t = 0, \quad \theta = 0, \quad \dot{\theta} = 0 \quad (29)$$

$$t = 0, \quad p = 1 \text{ bar} . \quad (30)$$

The boundary conditions of the other variables are derived easily from the kinematic and dynamic relations given above. Numerical solution of equations is performed by a method based on Taylor series expansion [15,32]. The solution of the dynamic model is progressed as same as the operation of an internal combustion engine. At first, the crankshaft is accelerated by the starter moment and the whole of the dynamic system gains momentum. Up to a certain value of the crankshaft angle the starter moment is kept active and the system is let to perform the first expansion

process. After the expansion process, system gains adequate momentum and keeps running.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Specific values used in the analysis are listed in table 1. Figure 2 illustrates the angular distribution of the heat released per degree of crankshaft angle. The angular distribution of the released heat was presented by Gaussian function where the peak of the Gaussian distribution corresponds to 192° . The total of the released heat per cycle is 779.87 J; and 729.78 J of this heat is released within the angles of 177° - 207° . Respect to this distribution, 93.6% of the released heat is performed within a 30° of crankshaft angle around 192° where 192° may be named as the midpoint of heat release interval. At stoichiometry conditions the heat released should be 894 J. However, in modern internal combustion engines the use of 100% fresh air is avoided because that in the case of using 100% fresh air the NO_x level in the exhaust gases exceeds limitations forced by some national and international legislations. To satisfy legislations, fresh air is mixed with some exhaust gas such as 5% - 15%. In this study the exhaust gas ratio mixed into the fresh air is assumed to be about 13%. On the other hand, in two-stroke engines inherently some exhaust gas mixes into the fresh air due to the scavenging of intake and exhaust ports. Regarding this situations the heat release per cycle is determined as 779.87 J. The heat release profile given in Figure 2 is very consistent with ones given in references [3,4] which are experimental findings.

Table 1. Specific values used in the analysis

Diameter of the piston	0.08 m
Location of midpoint of heat release interval (φ)	192°
A dimensionless constant to quantify the released heat (C)	2200
A dimensionless constant to quantify the heat release duration (Ω)	-25
Length of the conrod (λ)	0.16 m
Distance from conrod big end center to gravity center (λ_{cg})	0.04 m
Crank radius (R)	0.04 m
Crankcase inlet pressure (p_∞)	10^5 bar
Mass of piston (m_p)	0.6 kg if different, is given in the text
Mass of conrod (m_b)	0.4 kg if different, is given in the text
Torsional viscous damping coefficient at conrod bearing (C_{km})	0.002 N m s/rad

Torsional viscous damping coefficient at main bearing (C_h)	0.006 N m s/rad
Dimensionless friction coefficient at piston side surface (C_s)	0.05
Lateral viscous damping coefficient at piston side surface (C_p)	2.0 N s/m
Ring pack friction (F_∞)	20 N
Gas constant of air (\mathfrak{R})	288.0 J kg ⁻¹ K ⁻¹
Specific heat at constant pressure/Specific heat at constant volume (k)	1.35
Inlet temperature of the fresh air into the cylinder (T_{in})	350 K
Average wall temperature of cylinder (T_w)	400 K
Lower heating value of fuel	42000 kJ
Distance between piston top and gudgeon pin center (h_p)	0.05 m
Volume of crankcase corresponding to $\theta = 0$	10 ⁻³ m ³
Volume of combustion chamber	44x10 ⁻³ m ³
Crankshaft mass inertia moment (I_{kr})	0.0567 m ² kg
Conrod mass inertia moment (I_b)	0.0025 m ² kg
Radial distance of counter weight from the crankshaft center (R_d)	0.05 m
Starter motor moment (M_s)	60 Nm

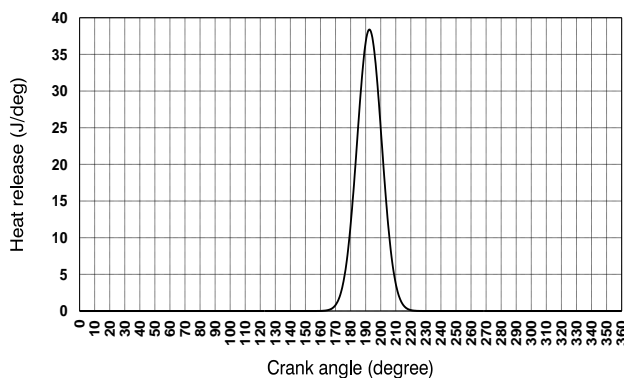


Figure 2. Heat releases during a cycle.

In a thermodynamic-dynamic analysis, the highest error may be imposed by the used heat transfer relations. In this analysis the heat transfer from gas to the wall was calculated via two relations given by Nusselt and Eichelberg. Figure 3 illustrates cumulative of the heat release, the indicated work generation, the cooling loss (heat transfer to the walls) and the exhaust loss over a period of 43 cycles. Data used in Figure 3 were obtained by using Nusselt relation in the simulation program

[16,36]. As seen from the figure the cumulative heat release, the indicated work generation, the cooling loss and the exhaust loss are varying linearly with time. In each of subsequent cycles, an equal amount of heat release, work generation, cooling loss and exhaust loss are observed. This is due to that all of these quantities are not varying from cycle to cycle. The curve indicating the heat release increases step by step like stairs. This is due to that in a cyclic period, the heat release occurs within a 50° of crank angle and in the remaining of the cycle the heat release is zero.

Data used in Figure 3 for cooling loss, indicated work and heat release were determined directly by the analysis. The exhaust loss was calculated by balancing the cooling loss, the indicated work and the heat release. The heat release, the cooling loss, the work generation and the exhaust loss over a period of 43 cycle are 33536.27, 9622.62, 13731.66 and 10182 J respectively. According to these results, 40.94% of the released heat is converted to the work, 28.69% is transferred to the wall and 30.36% is lost through the exhaust. These proportions are consistent with practical measurements.

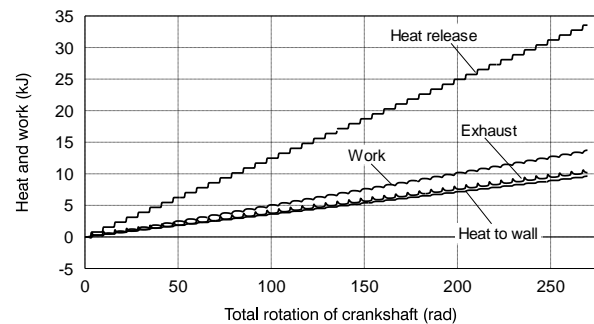


Figure 3. Comparison of the heat release, indicated work, cooling loss and exhaust loss

In simulation program if the Eichelberg relation is used instead of Nusselt relation, the results presented in Figure 4 were obtained. The heat released during 41 cycles is 31977 J. The cooling loss, the work generation and the exhaust loss are 18246, 9369.02 and 4361 J respectively. According to these results, 29.3% of the released heat is converted to the work. 57.05% is transferred to the wall. 13.63% is taken away by the exhaust gases. These proportions are inconsistent with practical measurements. As the result, the heat transfer relation given by Eichelberg was found to be not appropriate to use in this analysis. The numerical result used in the remaining of this analysis was obtained by the Nusselt relation.

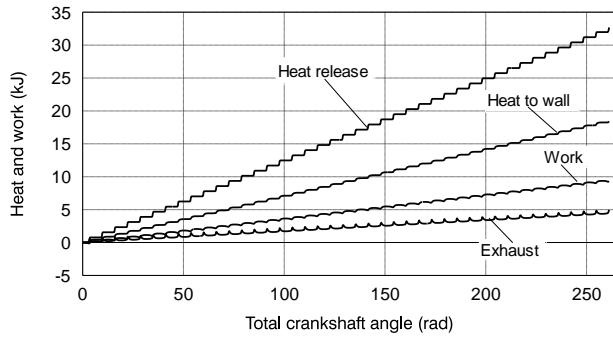


Figure 4. Comparison of the heat release, indicated work, cooling loss and exhaust losses [16,36].

Table 2 indicates variations of indicated efficiency, proportion of friction losses to the indicated work, shaft work, indicated work, engine torque, crankshaft speed and thermal efficiency versus the location of midpoint of heat release interval. The results presented in Table 2 are obtained for the constant speeds of 313 rad/s. As seen in Table 2, the maximum values of indicated efficiency, shaft work, indicated work, engine torque and brake thermal efficiency appear for midpoint of 192°. This value of midpoint is consistent with experimental findings [4]. Particularly the brake thermal efficiency obtained from this analysis is very consistent with experimental findings given for two-stroke engines [9]. On the whole, the position of the midpoint causes no drastic variations in the examined interval.

Results given in Table 2 were obtained by disregarding the pumping losses of fresh air. If the compression of fresh air in the crankcase is assumed to be isothermal and the pumping loss is included in the simulation program, the results seen in table 3 are obtained. When table 2 and 3 are compared, it is seen that indicated works are the same. Shaft work in table 3 is lower than the shaft work in table 2. The deviation is caused by pumping losses. As the result of this deviation, the overall brake efficiency of the engine declines 1% more down. In reference [9], the brake thermal efficiency of a

two-stroke diesel engine fuelled with alcohol is given as about 33% which is very consistent with the findings of this analysis. According to the Table 3, the energy distribution between shaft work, cooling heat, friction and pumping losses, and exhaust losses was determined as about 37%, 28.3%, 4.1%, and 30.6% respectively.

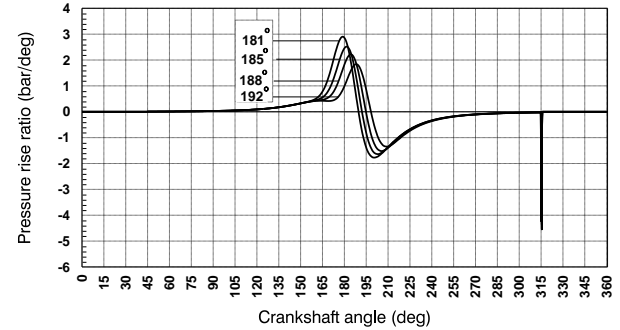


Figure 5. Variation of the pressure rise ratio with the location of midpoint of heat release interval

In Figure 5 the pressure rise ratio per degree of crankshaft angle was illustrated versus the crankshaft angle and midpoint of heat release interval. In the design of internal combustion engines the pressure rise ratio is a very important criterion. In the case of that the pressure rise ratio exceeds a certain value, the engine knock phenomenon occurs. In the literature of internal combustion engines the critical value of the pressure rise ratio was presented as $\frac{dp}{d\theta} = 10 \text{ bar/deg}$ [39,40,41].

According to the Figure 5, the pressure rise ratio is far enough from the knocking condition.

Figure 6 illustrates comparison of in-cylinder pressure profiles of cycles: polytropic with heat release and heat transfer, polytropic with heat transfer but no heat release and completely adiabatic. The pressure of the adiabatic cycle should be lower than that of polytropic cycle with heat release and heat transfer but, should be higher than that of polytropic cycle without heat

Table 2. Variation of the thermodynamic performance parameters with the midpoint angle of heat release interval

ψ (deg. of CA)	η_i (%)	W_f / W_i (%)	W_b (J/cyc)	W_i (J/cyc)	M_b (Nm)	ω (Rad/s)	η_b (%)
181	39.65	8.59	282.74	309.33	45	313.07	36.24
185	40.62	8.39	290.28	316.88	46.2	313.02	37.21
188	41.01	8.14	293.73	319.77	46.75	313.03	37.67
192	41.07	8.20	294.05	320.34	46.80	313.08	37.70
195	40.81	8.22	292.16	318.37	46.5	313.10	37.45
198	40.34	8.36	288.39	314.70	45.9	313.09	36.97

Table 3. Thermodynamic parameters obtained for 192° of midpoint by regarding pumping losses

ψ (deg. of CA)	η_i (%)	$(W_f + W_p) / W_i$ (%)	W_b (J/cyc)	W_i (J/cyc)	M_b (Nm)	ω (Rad/s)	η_b (%)	Q_c (J/cyc)
192	41	10	288.7	320	45.95	313.2	37	221

release. As seen from Figure 6, profiles are consistent with expectations. The difference between the adiabatic curve and polytropic curve with heat transfer is an indication of the rate of heat transfer to the wall.

The pressure profile of the polytropic cycle with heat release and heat transfer was obtained using the heat-release profile seen in Figure 2 where the midpoint is 192° of crank angle. The ratio of the peak pressure of the polytropic cycle to the other peak values is 2.022 and 1.85. These values are very consistent with practical results [9]. The peak value of the gas pressure of the polytropic cycle with heat release and heat transfer appears at 198° of crankshaft angle.

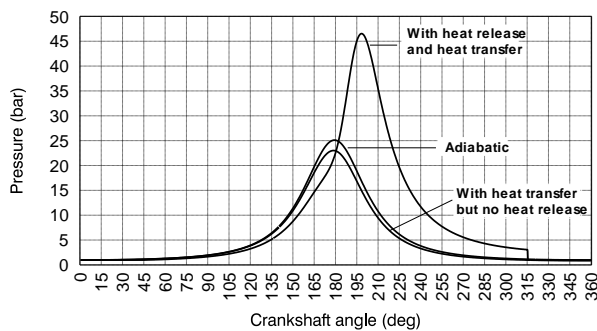


Figure 6. Comparison of pressure profiles obtained for polytropic cycle with heat release and heat transfer, polytropic cycle with heat transfer but no heat release and adiabatic cycle.

Figure 7 illustrates the temperature profile of the working gas of the engine comparatively with that of adiabatic and polytropic cycles having no heat release. The temperature of the fresh air was assumed to be 350 K. The temperature profile of the engine was obtained for the heat release depicted in Figure 2. During the heat release period the increase of the temperature is about 2.73 times the after-compression temperature of gas. The exhaust gas temperature of the engine before the pulsation is 1265 K or 992°C which is very consistent

with practical findings [3]. According to Figure 6, when the exhaust port is on the position of disclosing, the pressure of the gas is 3.06 bars. By assuming that the pulsation of the exhaust gases is an isentropic process, the after pulsation temperature of the exhaust gas was calculated as 919.73 K or 646.73 °C.

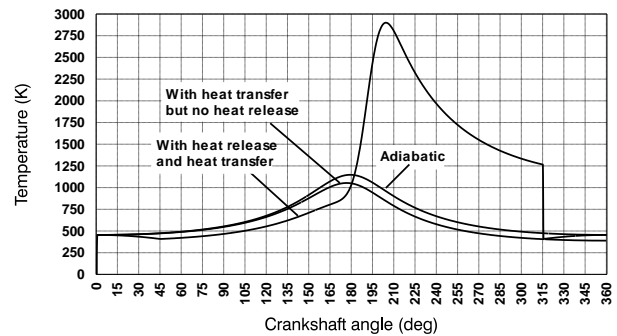


Figure 7. Variation of the gas temperature during a cycle

Figure 8 illustrates the P-V diagram of the engine. The effective compression ratio is determined as 9.037. The appearance of the P-V diagram is consistent with practical Otto cycle. In this engine 25% of piston stroke is devoted to discharging and recharging of the working fluid. As seen from Figure 8, the work loss due to this period is not very significant.

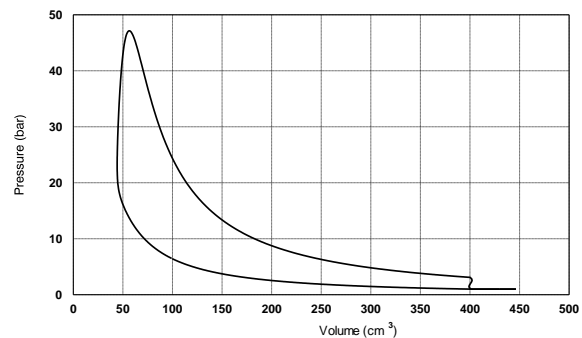


Figure 8. P-V diagram

In Table 4 and Figure 9, thermodynamic values

Table 4. Thermodynamic values obtained from the analysis for $\lambda = 1.146$, $\dot{\theta} = 313 \text{ rad/s}$, $\varphi = 192^\circ$ and $0.5 \leq p_\infty \leq 1 \text{ bar}$

Crankcase pressure (bar)	η_i (%)	η_b (%)	W_b (J/cyc)	W_i (J/cyc)	$\frac{W_f+W_p}{W_i}$ (%)	M_b (Nm)	Q_p (J/cyc)	$Q_{\lambda=1}$ (J/cyc)
1.0	41.08	36.73	286.51	320.45	10.59	45.6	779.91	893.83
0.9	40.73	36.26	254.47	285.83	10.97	40.5	701.62	804.45
0.8	40.39	35.56	221.79	251.88	11.95	35.3	623.62	715.07
0.7	39.99	34.71	189.44	218.26	13.20	30.15	545.74	625.68
0.6	39.49	33.58	157.08	184.72	14.96	25.0	467.75	536.3
0.5	38.93	31.99	124.72	151.79	17.83	19.85	389.86	446.91

obtained for $\lambda = 1.146$, $\dot{\theta} = 313 \text{ rad/s}$, $\varphi = 192^\circ$ and $0.5 \leq p_\infty \leq 1 \text{ bar}$ were presented. This examination corresponds to a constant speed testing of the engine. In experimental investigations the air used by the engine is quantified by the throttle valve position. In this study instead of throttle valve position, the crankcase inlet pressure has been used. As seen in Figure 9, while the crankcase inlet pressure decreases, the brake torque, heat input and indicated work decreases linearly. Indicated thermal efficiency and brake thermal efficiency displays accelerating decreases but, until 0.5 bar, the decrease of thermal efficiencies is not a drastic variation. From practical point of view, this is an advantageous aspect of this engine. The ratio of $(\text{friction loss} + \text{pumping loss}) / \text{indicated work}$ displays an accelerating increase. Acceleration of $(\text{friction loss} + \text{pumping loss}) / \text{indicated work}$ is caused by that both the nominator and denominator of the fraction decreases but the decrease of the denominator is larger than the decrease of nominator. At full throttle the engine analyzed here seems to be able to generate 14.27 kW power. The specific power of the engine per liter will be about 32 kW.

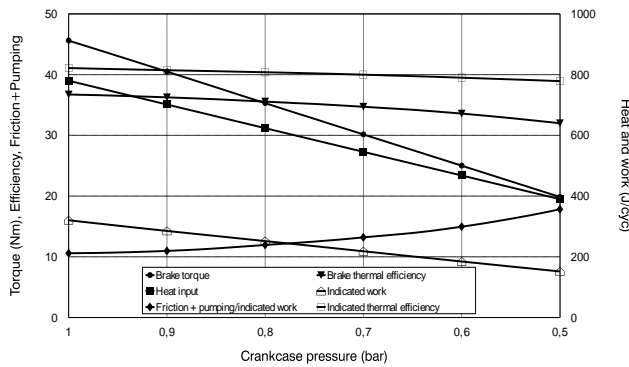


Figure 9. Variation of torque, thermal efficiencies, heat input, indicated work and ratio of losses to indicated work

Figure 10 illustrates a speed profile obtained from a case study. The engine is put in motion via a starter having 60 Nm torque. Before the starter begins to rotate the engine, the piston is at the bottom dead center. If the starter moment is applied during an initial motion of 7 radians, then the engine gains adequate momentum and continues to run by its own. Within the first two revolution of the crankshaft, via the starter moment, the crankshaft speed displays a rapid increase. Until the crankshaft rotates 100 radians, the external moment (load) is not applied. During this period, the crankshaft displays a decelerating increase. The deceleration is caused by the friction which is increasing with speed. After 100 radians, a critical external moment is applied so as to keep the average speed of the engine constant. The critical value of the external moment was obtained by trial and error. Over the stable running domain beyond 100 radians, the average speed of the crankshaft, corresponding to a 45 Nm critical torque, is 416 rad/s.

The maximum and minimum values of the speed are 421.12 and 410.91 rad/s. The ratio of fluctuation to average speed is 2.40%. In four-stroke engines having a similar crankshaft mass-inertia-moment, the speed fluctuation is more than two times the calculated value here [13,32]. Lower fluctuation is an advantage of the two-stroke engines. The kinetic energy variation of the crankshaft caused by speed fluctuation is roughly 290 J.

The exaggerated view appended to Figure 10 shows the cyclic variation of the crankshaft speed at steady steady running conditions. The period $0 \leq \theta \leq \pi$ is a compression process. The second part, $\pi \leq \theta \leq 2\pi$, is an expansion process. During the first part, the net energy transferred to the reciprocating elements is zero because of that the initial and final speeds of the reciprocating elements are the same. During the first part, the decrease of crankshaft speed is about 10 radians. The kinetic energy variation of the crankshaft is about 241 J. The energy transferred from the crankshaft to the gas and foundation is about 141 J. The difference between these two values is frictional losses and compression work.

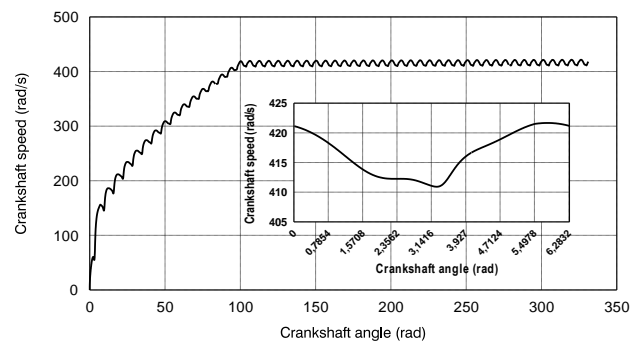


Figure 10. Crankshaft speed fluctuations

Figure 11 illustrates variation of the crankshaft speed with external load. In practice this operation is called speed testing. All of the speed profiles seen in Figure 11 were obtained at 100% throttle openness. While the speed increases, the external load applicable to the engine decreases. This is caused by the increase of frictional losses. In practical speed testing of real engines, the decrease of the torque is caused mainly by two factors such as natural throttling of the intake air due to viscous flow losses and frictional losses of the engine. This analysis does not involve natural throttling of the intake air. Therefore the speed profiles obtained here differs from the practical ones. In real engines, after a certain value of crankshaft speed, engine torque may decline. As seen from Figure 11, while the mean speed increases, the fluctuation decreases. The relation between the mean speed and fluctuation seems to be linear. While the mean speed increases the brake torque displays a decelerating decrease.

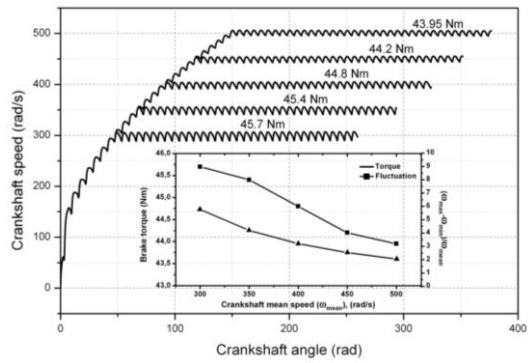


Figure 11. Variation of crankshaft speed with external load

Figure 12 illustrates vertical components of the piston and conrod force and the counter weight force obtained from a case study. The case study was conducted for 4000 rpm engine speed. In this case study, both the piston and conrod masses were taken to be 500 g and the mass of the counter weight was predicted as 600 g. The crankshaft used here is assumed to be statically pre-balanced without conrod and piston. As seen from Figure 12, peak values of vertical force generated by the piston and conrod is about 4265 N. The peak value of the vertical force generated by a counter weight is about 2766N. The difference of vertical forces generated by piston and conrod, and counter weight is 1500 N. So, the vertical unbalance is reduced from 4265N to 1500N.

Figure 13 illustrates horizontal components of the piston and conrod force and the counter weight force obtained from the same case study mentioned in Figure 12. As seen from Figure 13, peak values of vertical force generated by the piston and conrod is about 1500 N. The peak value of the vertical force generated by a counter weight is about 3000 N. The difference of horizontal forces generated by piston and conrod, and counter weight is 1500 N. So, the horizontal unbalance is not reduced. The counter weight has no reducing effect on the horizontal unbalance. On the contrary, the counter weight increases the horizontal unbalance as much as that it reduces the vertical unbalance. In some applications the vertical unbalance may be harmless; in such a case counter weight may be completely unnecessary, or vice versa. From this case study we observe that the mass of the piston and conrod should be as small as possible.

Figure 14 illustrates comparison of the counter weights obtained from the present study and former studies. In former analysis the conrod mass was split into two parts as $30m_b/100$ and $70m_b/100$. The part $30m_b/100$ was added to the piston mass while the other was added to the crankshaft mass. The static balancing of the crankshaft is thought to be performed after addition of the part $70m_b/100$. Therefore, in previous studies, the unbalance struggling to vibrate the engine is generated by the piston mass and 30% of the conrod mass.

According to the previous studies the mass of the counter weight may be predicted via the correlation,

$$m_d = 0.5 \frac{R}{R_d} \left(m_p + \frac{30}{100} m_b \right) \quad (31)$$

which was obtained by correlating numerical results [32]. Into this correlation, by substituting $m_p = 0,5 \text{ kg}$, $m_b = 0,5 \text{ kg}$, $R = 0,04 \text{ m}$ and $R_d = 0,05 \text{ m}$, the mass of counter weight is predicted as 0.26 kg. In Figure 14A the mass of the piston and conrod as well as the mass of the counter weight predicted from the present study were indicated. If masses taking part on the both sides of the crankshaft were reduced as seen in Figure 14B, we may not expect a drastic variation in its dynamic equilibrium because of that the part cut off from the conrod behaves, more likely, as a part of crankshaft. As seen in Figure 14B, the counter weight is 250 g which is balancing the piston mass and 30% of the conrod mass. So, Figure 14B is a presentation of balancing of crankshaft according to the previous studies. The counterweight seen in Figure 14B is 250 g however; the one predicted via Equation (31) is 260 g. There is only 10 g difference between the present and former analyses which may generate at most 4% deviation.

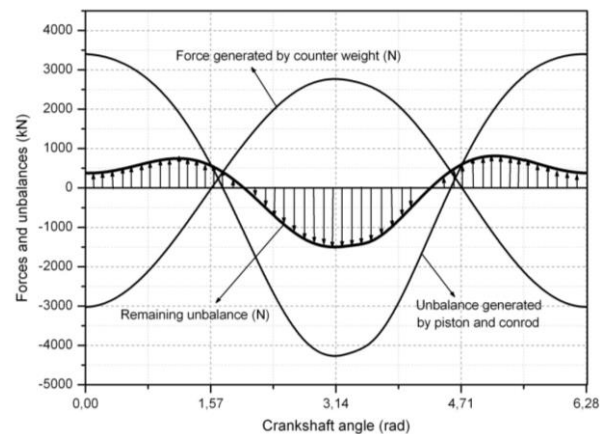


Figure 12. Vertical force and unbalances

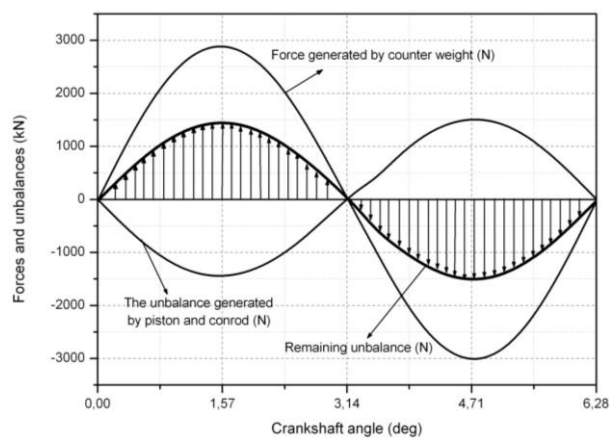


Figure 13. Horizontal force and unbalances

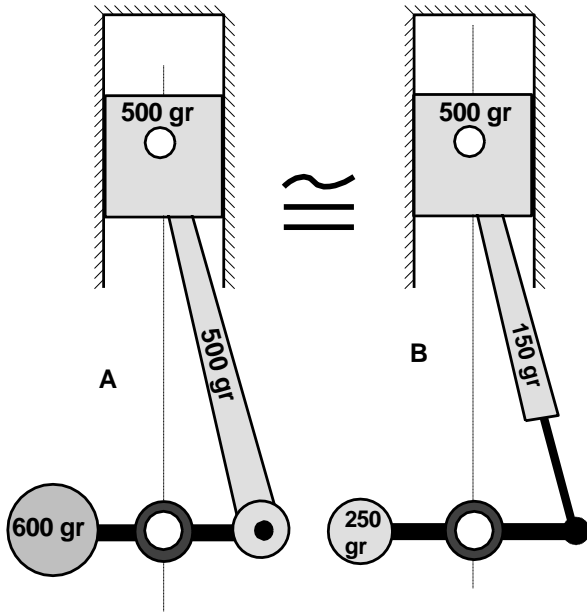


Figure 14. Conversion of counter weights determined with the present analysis and former analyses.

4. CONCLUSION

Via developing a thermodynamic-dynamic model the thermodynamic and dynamic behaviors of a single cylinder two-stroke gasoline engine has been investigated. The highest thermodynamic performance was obtained from the engine when the midpoint of the heat release interval was at 192° of crankshaft angle. The break torque of the analyzed engine was found to be about 45 Nm under the atmospheric charging conditions and 3000 rpm speed. The specific power of the engine was determined as 32 kW/liter. The thermodynamic values obtained from this analysis were found to be consistent with the result of previously conducted theoretical and experimental analyses. Analysis indicates that about 41% of the released heat is converted to the indicated work, 29% is transferred to the wall and 30% is taken away by the exhaust gases. Friction and pumping losses of the engine was predicted as about 10% of indicated work. While the intake air pressure was changing from 1 bar to 0.5 bar, the engine torque changed from 45.6 to 19.85 Nm at 3000 rpm engine speed. At 45 Nm load and 3000 rpm speed, the speed fluctuation of the engine was found to be about 3%. The difference of counter weights determined by former and present analyses was found to be less than 5%. The pressure rise ratio of the engine was estimated as $\frac{dp}{d\theta} \cong 2 \text{ bar/deg}$ for the 192° heat release interval midpoint.

NOMENCLATURE

A_i instantaneous heat transfer area (m^2)
 C a constant to quantify the released heat during the cycle (J/rad)

C_{kn} torsional viscous damping coefficient at conrod bearing (Nms/rad)
 C_s dimensionless friction coefficient at piston side surface
 C_h torsional viscous damping coefficient at main bearing (Nms/rad)
 C_p lateral viscous damping coefficient at piston surface (Ns/m)
 F_w gas force exerting onto the piston (N)
 F_{ch} crankcase pressure force (N)
 F_{bx} x component of the conrod force exerting on piston (N)
 F_{by} y component of the conrod force exerting on piston (N)
 F_{dx} x component of the force generated by counter weight (N)
 F_{dy} y component of the force generated by counter weight (N)
 F_{kx} horizontal force applied by crankpin to conrod (N)
 F_{ky} vertical force applied by crankpin to the conrod (N)
 F_{cx} horizontal trust force exerting on engine block (N)
 F_{cy} vertical trust force exerting on engine block (N)
 F_∞ ring pack friction (N)
 h cylinder heat transfer coefficient ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)
 h_p distance between piston top and gudgeon pin center (m)
 I_{kr} crankshaft mass inertia moment (m^2kg)
 I_b conrod mass inertia moment (m^2kg)
 k specific heat at constant pressure/specific heat at constant volume
 m mass of working gas (kg)
 m_b mass of conrod (kg)
 m_d mass of counter weight (kg)
 m_p mass of piston (kg)
 M_f moment generated by load-dependent friction at crankpin bearing (Nm)
 M_τ moment generated by load-dependent frictions at main bearings (Nm)
 M_s starter motor moment (Nm)
 M_q External moment applied by the foundation to the engine (Nm)
 n stroke counter

p	pressure (Pa)	φ	a dimensionless constant to indicate the location of maximum heat release
p_w	gas pressure exerting on piston top (Pa)	λ	conrod length (m)
p_{ch}	gas force exerting on piston bottom (Pa)	λ_{cg}	distance from conrod big end center to gravity center (m)
p_{i-1}	pressure corresponding to any θ_{i-1}	η_i	indicated thermal efficiency
p_i	pressure corresponding to θ_i	η_b	brake thermal efficiency
q	heat per kg of air (J/kg)		
Q_p	heat released during the cycle (J)		
q_p	heat released per kg of air during the cycle (J/kg/cycle)		
Q_w	heat transferred to the wall during the cycle (J)		
q_w	heat transferred to the wall per kg of air during the cycle (J/kg/cycle)		
R	crank radius (m)		
R_d	radial distance of counter weight from the crankshaft center (m)		
\mathfrak{R}	gas constant (J/Kg K)		
T	temperature (K)		
T_w	wall temperature (K)		
t	time (s)		
u	internal energy per kg of air (J/kg)		
v	specific volume of air (m ³ /kg)		
V	volume of the gas (m ³)		
V_{i-1}	volume corresponding to θ_{i-1}		
V_i	volume corresponding to θ_i		
V_p	average velocity of the piston during a stroke (m/s)		
W_i	indicated work per cycle (J)		
W_p	pumping work per cycle (J)		
W_f	friction work per cycle (J)		
W_b	shaft work per cycle or brake work per cycle (J)		
x	coordinate element (m)		
x_b	conrod gravity center location in x (m)		
y	coordinate element (m)		
y_p	piston top location in y (m)		
y_b	conrod gravity center location in y (m)		
θ	angular position of the crankshaft respect to the initial position, Fig. 1, (rad)		
$\dot{\theta}$	angular speed of the crankshaft (rad/s)		
$\ddot{\theta}$	angular acceleration of the crankshaft (rad/s ²)		
ω	engine speed, $\dot{\theta}$, (rad/s)		
Ω	a dimensionless constant to quantify the heat release duration		
ψ	conrod angle with cylinder axis (rad)		

REFERENCES

- Blair G. P., "Design and Simulation of Two-Stroke Engines", U.S.A: **Society of Automotive Engineers, Inc.**, (1996)
- Gabele P. A. and Pyle S. M., "Emissions from Two Outboard Engines Operating on Reformulated Gasoline Containing MTBE", **Environ. Science Technology**, 34: 368-372, (2000)
- Amin M. A., Azhar A. A., MohdF. M. S., Zulkarnain A. L., "An experimental study on the influence of EGR rate and fuel octane number on the combustion characteristics of a CAI two-stroke cycle engine", **Applied Thermal Engineering**, 71: 248-258, (2014)
- Pradeep V., Bakshi S., Ramesh A., "Scavenging port based injection strategies for an LPG fuelled two-stroke spark-ignition engine", **Applied Thermal Engineering**, 67: 80-88, (2014)
- Volckens J., Olson D. A., Hays M. D., "Carbonaceous species emitted from hand held two-stroke engines", **Energy Procedia**, 45: 739 – 748, (2014)
- Cantore G., Mattarelli E., Rinaldini C.A., "A new design concept for 2-Stroke aircraft Diesel engines", **Energy Procedia**, 45: 739-748, (2014)
- Chehroudi B., Schuh D., "Intake-port flow behavior in a motored and fired two-stroke research engine", **Experimental Thermal and Fluid Science**, 10:86-100, (1995)
- Semin N.M.I.N. Ibrahim Rosli A. Bakar and Abdul R. I., "In-cylinder flow through piston-port engines modeling using dynamic mesh", **Journal of Applied Sciences Research**, 4(1): 58-64, (2008)
- Li X., Zhang L., Fanga J., Huang Z., Xi H., "Combustion and emission characteristics of a two-stroke diesel engine operating on alcohol", **Renewable Energy**, 30: 2075–2084, (2005)
- Mattarelli E., Cantore G., and Rinaldini C.A., "Advances in the design of two-stroke, high speed, compression ignition engines", **Advances in Internal Combustion Engines and Fuel Technologies**, Chapter 5 DOI: 10.5772/54204, (2013)
- Uyumaz A., Solmaz H., Yılmaz E., Yamık H., Polat S., "Experimental examination of the effects of military aviation fuel JP-8 and biodiesel fuel blends on the engine performance, exhaust emissions and combustion in a direct injection engine", **Fuel Processing Technology**, 128: 158–165, (2014)

12. Ismail H.M., Ng H.K., Gan, S., Lucchini, T., “Computational study of biodiesel–diesel fuel blends on emission characteristics for a light-duty diesel engine using open FOAM”, *Applied Energy*, 111: 827–841, (2013)
13. Karabulut H., Ersoy H., “Dynamic Behaviors of a Two-Cylinder Four-Stroke Internal combustion Engine”, *Gazi University Journal of Science*, 25(2):519-532, (2012)
14. Awrejcewicz J., Kudra G., “The piston-connecting rod-crankshaft system as a triple physical pendulum with impact”, *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 15(7): 2207-2226, (2005)
15. Karabulut H., Öztürk E., Çınar C., “Tek silindirli bir dizel motorunun dinamik ve titreşim analizleri”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 27(3): 491-500, (2012)
16. Quintero H.F., Romero C. A., Useche L. V. V., “Thermodynamic and dynamic of an internal combustion engine with a noncircular-gear based modified crank-slider mechanism”, *12th IFToMM World Congress, Besançon (France)* 1-6, (2007)
17. Tan Y-C, Ripin Z. M., “Technique to determine instantaneous piston skirt friction during piston slap”, *Tribology International*, 74:145-153, (2014)
18. Tan Y. C., Ripin Z. M., “ Analysis of Piston Secondary Motion”, *Journal of Sound and Vibration*, 332: 5162-5176, (2013)
19. Reis,V. L., Daniel G. B., Cavalca K. L., “Dynamic analysis of a lubricated planar slider–crank mechanism considering friction and Hertz contact effects”, *Mechanism and Machine Theory*, 74: 257–273, (2014)
20. Livanos G. A., Kyrtatos N. P., “Friction model of a marine diesel engine piston assembly”. *Tribology International*, 40: 1441–1453, (2007)
21. Rahnejat H., “Tribology and dynamics of engine and powertrain: fundamentals, applications and future trends”, **New Delhi: Woodhead Publishing Limited**, (2010)
22. Perera, M. S. M., Theodossiades S. and Rahnejat H., “Elasto-multi-body dynamics of internal combustion engines with tribological conjunctions”, *Proc IMechE Part K: J Multi-Body Dynamics*, 224: 261–277, (2010)
23. Allmaier H., Sander D.E., Reich F.M., “Simulating friction power losses in automotive journal bearings”, *Procedia Engineering*, 68: 49 – 55, (2013)
24. Hu, Y., Cheng, H.S., Arai, T., et al., “Numerical simulation of piston ring in mixed lubrication – a non-axisymmetrical analysis”, *Journal of Tribology*, 116: 470–478, (1994)
25. Bedajangam S. K., Jadhav N. P., “Friction losses between piston ring-liner assembly of internal combustion engine: a review”, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(6):1-3, (2013)
26. Guzzomi A. L., Hesterman D. C., Stone B. J., “The effect of piston friction on engine block dynamics”, *Proc IMechE Part K: J Multi-Body Dynamics*, 221: 277–289, (2007).
27. Balakrishnan, S., Howell-Smith, S. and Rahnejat, H., “Investigation of reciprocating conformal contact of piston skirt-to-surface modified cylinder liner in piston skirt-to-surface modified cylinder liner”, *Proc IMechE Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 219(11): 1235-1247, (2005)
28. Croes J., Iqbal S., “Literature survey: bearing losses”, **EC - 7th Framework Programme - Theme ICT**, (2009)
29. Bălan M. R. D., Stamate V. C., Houpert L., Olaru D. N., “The influence of the lubricant viscosity on the rolling friction torque”, *Tribology International*, 72:1–12. (2014)
30. Andersson S., Soderberg A., Bjorklund S., “Friction models for sliding dry, boundary and mixed lubricated contacts”, *Tribology International*, 40: 580–587, (2007)
31. Söndgen S., Predki W., “Power loss and axial load carrying capacity of radial cylindrical roller bearing”, *Power Transmission Engineering*, 42-47, (2013)
32. Karabulut H., “Dynamic model of a two-cylinder four-stroke internal combustion engine and vibration treatment”, *International Journal of Engine Research*, 0(0):1-12, (2012)
33. Metallidis P., Natsiavas S., “Linear and nonlinear dynamics of reciprocating engines”, *International Journal of Non-linear mechanics*, 38: 723-738, (2003)
34. Pasricha M. S., Hashim F. M., “ Effects of the reciprocating mass of slider-crank mechanism on torsional vibration of diesel engine system”, *Asean Journal on Science and Technology for Development*, 23(1): 71-81, (2006)
35. Giakoumis E. G., Rakopoulos C. D., Dimaratos A. M., “Study of crankshaft torsional deformation under steady-state and transient operation of turbocharged diesel engines”, *Proc. IMechE Part K: J. Multi-body Dynamic*, (222):17-30, (2008)
36. Spitsov O., “Heat transfer inside internal combustion engine: modeling and comparison with experimental data”, *Master Thesis; Lappeenranta University of Technology*, (2013)
37. SKF group, SKF rolling bearings catalogue, (2013)
38. Storakers B., Elaguine D., “Hertz contact at finite friction and arbitrary profiles”, *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 53:1422–1447, (2005)
39. Mavropoulos G.C., “Experimental study of the interactions between long and short term unsteady heat transfer responses on the in-cylinder and exhaust manifold diesel engine surfaces”, *Applied Energy*, 88:867-881, (2011)
40. Yap D., Karlovsky J., Megaritis A., Wyszynski M. L., Xu H., “An investigation into propane homogeneous charge compression ignition (HCCI) engine operation with residual gas trapping”, *Fuel*, 84: 2372–2379, (2005)
41. Megaritis A., Yap D., Wyszynski M.L., “Effect of water blending on bioethanol HCCI combustion with forced induction and residual gas trapping”, *Energy*, 32:2396–2400, (2007)

3B CNC Torna Simülasyon Yazılımları için Poligon Tabanlı Nesne Modelleme

Harun GÖKÇE

TÜBİTAK – SAGE Savunma Sanayii Araştırma ve Geliştirme Enstitüsü Ankara/TÜRKİYE

(Geliş / Received : 13.05.2015 ; Kabul / Accepted : 21.09.2015)

ÖZ

Bilgisayarlı grafik sistemlerindeki hızlı gelişmeler imalat sistemlerinin hedeflenen bazı fonksiyonlarını sanal ortamda gözlemlemeye izin vermektedir. Talaş kaldırma operasyonlarının sanal ortamda benzetimi çok yoğun hesaplamalar ve grafik gereksinimine sebep olduğundan dolayı hedeflenen işlevler ele alınır. Bu çalışmada, CNC torna tezgahlarının 3B (üç boyutlu) simülasyon yazılımları için nesne modelleme ve etkileşim algoritması geliştirilmiştir. İş parçasının ve kesici takımın modellenmesinde 2B (iki boyutlu) poligon tabanlı model oluşturma yöntemi uygulanmıştır. 2B iş parçası nesne modeli döndürülerek süpürme işlemine tabi tutularak 3B görüntüsü elde edilebilmektedir. Aynı işlem 2B kesici takım geometrisine de uygulanmakta, ancak süpürme tekniği doğrusal olarak uygulanmaktadır. İş parçası ve kesici takımın birbirleri ile olan etkileşimi için yeni bir 2B poligon kırma tekniği geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem sanal doğrulama sisteminde kullanılarak işlevselliği denetlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: CNC simülasyonu, Bilgisayarlı grafik, Sanal işleme

Object Modeling Based Polygon For 3D CNC Lathe Simulation Softwares

ABSTRACT

Rapid developments in computer graphics system allows virtual observing the aimed functions of manufacturing system. Because the virtual simulation of chip removal process needs high calculation and graphics, the aimed fundamental processes are handled. In this study, object modelling and interaction algorithm are developed for 3D (3 Dimensional) simulation softwares of CNC lathes. 2D (2 Dimensional) polygon based modelling is used in modelling workpiece and cutting tools. While 2D workpiece model is being subjected to sweep by being rotated, the geometry of 2D cutting tool is swept linearly, and 3D images are obtained. A 2D polygon clipping technique has been developed for the interaction between workpiece and cutting tool. The functionality has been checked by using the developed system in the virtual verification system.

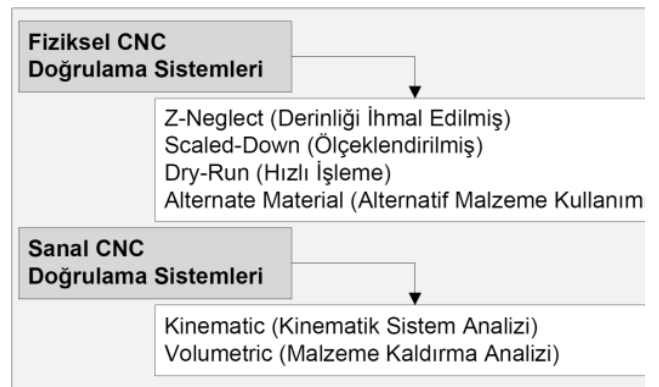
Keywords: CNC simulation, Computers graphic, Virtual machining

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

CNC takım tezgahlarında yapılan üretimlerin doğrulanmasında fiziksel ve sanal sistemler olmak üzere iki farklı metot kullanılır. Fiziksel sistemler, takım tezgahları üzerinde örnek iş parçası işlemeye dayalı doğrulama yöntemleridir. CNC tezgahlarında ilk defa çalıştırılacak olan bir program tezgah üzerinde denirse, CNC programındaki olası hatalar nedeni ile kesicinin çarpmasına neden olabilir. Bu ise riskli ve maliyeti yüksek tamiratları gerektirebilir. Ayrıca tezgah gereksiz yere meşgul edilerek zaman kaybına neden olacaktır (Şekil 1).

Üretim felsefesi açısından takım tezgahlarının zaman kaybı olmaksızın sürekli üretimde bulunması zorunludur. Bu yüzden elde edilen takım yolu verilerinin deneme işleme yolu ile kontrolü programcının bilgi kapasitesi ne olursa olsun problemlere açıktır. Endüstride CNC torna tezgahları için takım yolu hazırlama, programcının uzmanlığına

bağlı olarak teknik resim üzerinden elle



Şekil 1. NC Kod Doğrulama Yöntemleri (NC Code Verification Method) [1]

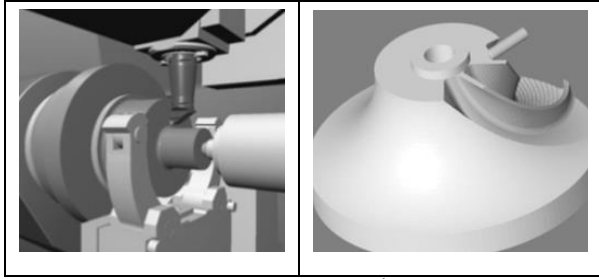
satırların tezgah kontrol paneline yazılması ile olur. Üretime geçilmeden önce, örnek bir malzeme bağlanarak veya tezgah boş olarak bir deneme üretimi yapılır. Program akışında ve takım yolunun izlenmesinde ortaya çıkacak aksaklıklar bu şekilde yerinde görülür ve giderilir.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: harungokce@outlook.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 155-161

Bilgisayarlı grafik gelişen donanım mimarileri, yeni programlama dilleri ve kolay kodlama gibi birçok nedenden dolayı hızlı bir gelişim göstermektedir. Bilgisayarlı grafik 3B sahnelerin hesaplanması, boyanması ve derinlik verilmesi gibi özelliklerin elde edilebilmesi için geliştirilmiştir. Bilgisayarlı grafik alanındaki bu hızlı gelişmeler gerçek üretim süreçlerinin hedeflenen bazı fonksiyonlarını sanal ortamda izlenmesine olanak sağlamıştır. Bilgisayar Destekli Tasarım, Analiz ve İmalat (BDT/BDA/BDİ) sistemleri sanal mühendislik sistemlerinin büyük bir parçası olup endüstride yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu sistemler ile karmaşık parçalar dahi bilgisayar ortamında kolaylıkla tasarlanarak üretime hazır hale getirilebilmektedir (Şekil 2).



Şekil 2. Kinematik Ve Hacimsel Sanal İşleme (Kinematic And Volumetric Virtual Machining) [1]

BDT programları ile oluşturulan 3B modellerin üretimleri için ihtiyaç duyulan takım yolu verileri elle kullanıcı tarafından ya da BDİ paket programları ile elde edilir. Takım tezgahlarına gönderilecek bu verilerin işleme operasyonu sonucunda istenilen neticeyi vereceğinden emin olmak karmaşık operasyonlar için oldukça zordur. Tezgah üzerinde deneme işleme yoluyla programlarının doğrulanması riskli, yavaş ve masraflıdır. Ayrıca programlamada hata kaynakları çok çeşitli olabildiğinden, bu hataların atölyede tespiti çoğu zaman büyük riskler oluşturmaktadır.

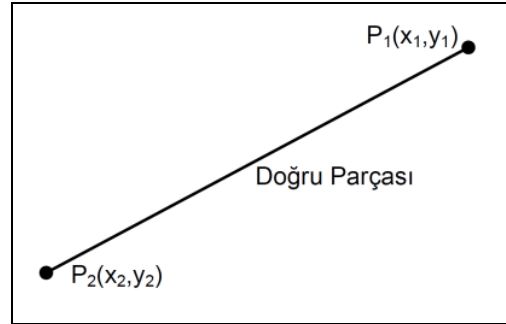
Bu amaçla Gülesin, freze tezgahlarında kesici takım hareket kontrolü için 2B simülasyon yazılımı geliştirmiştir [2]. Aynı yıllarda Özdemir, benzer bir yapı kurgulayarak torna tezgahlarında takım yolu doğrulama sistemi üzerine araştırmada bulunmuştur [3]. Sonraki yıllarda ülkemizdeki kısıtlı çalışmalara rağmen, dünyadaki araştırmalar hız kazanmıştır. Literatürde araştırmaların 2010 yılından itibaren artarak devam ettiği görülmektedir. Chen, imalat ortamındaki tüm nesnelere OpenGL tabanında 3B modellemiştir. Ardından geliştirdiği nesne etkileşim algoritması ile iş parçası nihai geometrisinin elde edilmesini sağlamıştır [5]. Mann vd. 5 eksenli takım tezgahlarındaki hareket belirsizliklerini önceden tespit edebilmek için tüm tezgahı sanal ortamda modellemiştir. BDİ programları ile elde edilen takım yolu verisinin aksel hareket kontrolü bu yöntemle sağlanmıştır [6]. Hanwu, web tabanlı uygulamaların hayatımıza yoğun bir şekilde girmesi ile internet ortamında atölye kontrolü sağlamayı amaçlamıştır [7]. Lee vd. sanal ortamda 5 eksenli imalat süreçleri için farklı bakışlarda talaş kaldırma

operasyonunun görüntülenmesini sağlamışlardır. Bunun için, alana gönderilen ışın açılarının yatay ve dikey notasyonlarını değiştirmiştir [8]. Yeğin yaptığı yüksek lisans çalışmasında, sanal imalat sistemleri için kullanılan bilgisayarlı grafik tekniklerini karşılaştırmıştır. Pksel ve vektör tabanlı modelleme teknikleri anlatılmış, karşılaştırmalar ile yetenekleri ortaya konmuştur [9]. Aini, son yıllarda yaptığı çalışma ile birçok sanal doğrulama sistemini inceleyerek sistemler arasındaki farkları, geliştirme tekniklerini ve yeteneklerini ortaya koymuştur [10].

Bu çalışma kapsamında 3B CNC torna simülasyon yazılımlarında ihtiyaç duyulan fiziksel nesnelere BRep tabanlı olarak modellenmesi amaçlanmıştır. İlk olarak iş parçası ve kesici takım modellerinin sanal ortamda inşası için geliştirilen poligon tabanlı modelleme tekniği anlatılmıştır. Ardından, 2B nesne modellerinden 3B nesne görüntüsü elde edilmesi için gerekli geliştirme faaliyetleri tanıtılmıştır. Son olarak, poligon kırma esasına dayanan iş parçası ve kesici takım etkileşim modeli hazırlanmıştır.

2. YÖNTEMBİLİMİ (METHODOLOGY)

Poligon oluşturma tekniği bilgisayarlı grafik teknolojisinin ortaya çıkmasından itibaren kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknik ile koordinat değerleri verilen noktalar saat ibresi yönünde doğrular yardımı ile çizdirilir. Noktalar, poligonların sınır parametreleri olarak tanımlanır (Şekil 3).



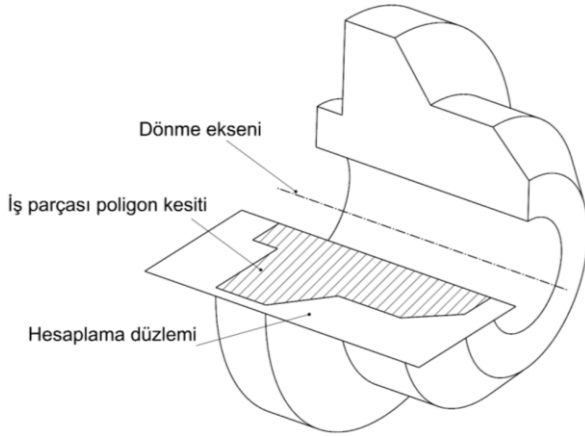
Şekil 3. Doğru parçası $L(P_1, P_2)$ (Line segment) [4]

Tornalama işleminin geometrik özellikleri nedeni ile kesici takım ve iş parçası 2B poligon model olarak düşünülmüştür. 3B nesne modelinin oluşturulması için iş parçası kesit poligon geometrisine döndürme işlemi uygulanırken kesici takım poligon geometrisi doğrusal süpürme işlemine tabi tutulur.

2.1. İş Parçası Poligon Tabanlı Model Hazırlama (Polygon Based Model Creation For Workpiece)

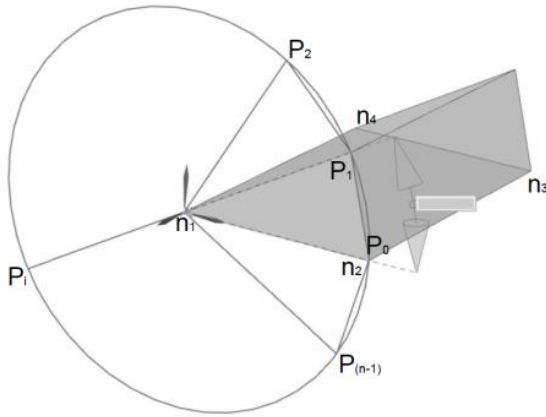
Sanal tornalama için iş parçası geometrisinin basit bir yapıda kurgulanması önemlidir. Sistemde oluşturulan nesnelere tümü sabit bir geometriye sahipken, iş parçası geometrisi kesici takım ile etkileşime girerek geometri değişikliğine uğramaktadır. Etkileşim sonucunun hızlı bir şekilde iş parçası geometrisine yansıtılması için algoritma sade bir şekilde oluşturulmalıdır. Bu çalışmada, iş parçası başlangıç

geometrisi dört nokta ile dikdörtgen bir yapıda tanımlanmıştır. Dikdörtgen genişliği iş parçası uzunluğu olarak, yüksekliği de yarıçap ölçüsü olarak belirtilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. İş parçası hesaplanmış kesit alanı (Workpiece Calculated Cross-Section) [4]

Tezgah dönme eksenini ile iş parçası eksenini eş olduğundan dolayı aksel simetrik özelliğinden yararlanılarak iş parçası modeli oluşturulmaktadır. Dönme eksenini etrafında simetri oluşturularak toplam iş parçası çapı meydana getirilir. Simetrik parçalardaki bu özellik parçanın tamamında hesaplama yapılmadan çeyrek alandaki çözümlerin döndürülerek süpürülmesine olanak sağlamaktadır.



Şekil 5. İş Parçası Poligon Görüntüsü (Workpiece Polygon View) [4]

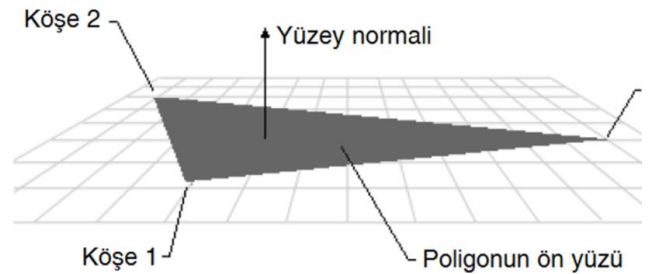
İş parçasının XZ düzlemindeki kesit köşe noktaları (n_1, n_2, n_3, n_4) ilk aşamada;

$$\begin{aligned} n_1 &= (x_0 - z_0), & n_2 &= (x_{t1} - z_0), & n_3 &= (x_{t1} - z_{t2}), \\ n_4 &= (x_0 - z_{t2}) \end{aligned}$$

koordinat değerleri ile oluşturulur. Burada t_1 ve t_2 değerleri boy ve çap değerlerini temsil etmektedir. İş parçası 2B kesiti tezgah eksenini etrafında belirli aralıklarda döndürülerek çoğaltılır. Kesit profilin açılal

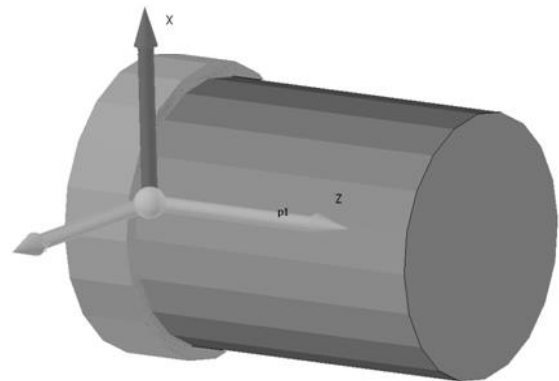
çoğaltma değeri'nin P_n azaltılması simülasyon gerçekliğini artıracaktır. Bununla birlikte hesaplama zamanını uzatacağından dolayı sistem gereksinimlerinin artmasına sebep olacaktır. Oluşan poligonlar arasında köşe sırası ile OpenGL ağ örme fonksiyonu uygulanır. Bu sayede modelin tel kafes yapıdan katı model yapıya dönüştürülmesi sağlanır. İş parçası 2B poligon geometrisinin 3B model olarak oluşturulması için aşağıdaki adımlar uygulanır.

- İş parçasını oluşturan her doğru parçası ayrı olarak ele alınmalıdır.
- Her doğru parçasından elde edilen iki köşe noktası üçgen ağ yapısının elde edilmesi için Z eksenini etrafında döndürülür. Eğer köşe değeri döndürme eksenini üzerinde ise $P_n=(x, 0)$ sadece diğer köşe noktası döndürülür.
- Her ikisinde Z eksenini üzerinde ise $P_n=(0, 0)$ bu parça üzerinde 3B işlem uygulanmaz.



Şekil 6. Yüzey Normali Gösterimi (Path-Surface Normal Direction View) [4]

Bir ağ yapısı oluşturmak için sadece üç köşe noktası yeterli değildir. Buna ek olarak, köşelerin tepe normallerinin tanımlanması gerekir. Yüzey gölgeleme miktarının hesaplanması için yüzey normalini dikkat edilmesi gereken bir parametredir (Şekil 6). Gölgeleme işlemi RGB renk kodlama sistemleri ile oluşturulmaktadır.



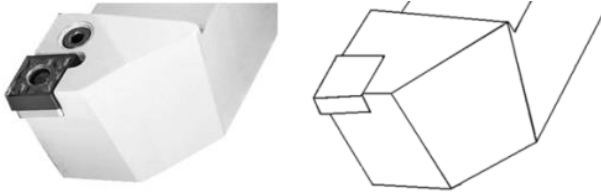
Şekil 7. İş Parçası Döndürülmüş 3B Model Görüntüsü (Workpiece Rotational 3D Model View) [4]

ışın gönderme metodu, ağ örme metodu ile katı modele dönüştürülmüş iş parçası ve kesici takıma uygulanır.

Tanımlı ışık kaynağından çıkan ışınların, iş parçası ve kesici takım geometrisi üzerine düşmesi sonucu, ışınların düştüğü yüzey uzaklıklarına göre yüzeylerin RGB kodları ile renklendirilir. Bu sayede simülasyonda 3B gerçekçi görüntünün oluşması sağlanır.

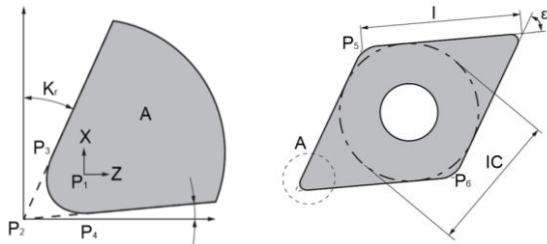
2.2. Kesici Takım Poligon Tabanlı Model Hazırlama (Polygon Based Model Creation For Cutting Tool)

İş parçasının nihai geometrisinin elde edilmesi kesici takım geometrisinin uygun seçilmiş olması ile mümkündür. CNC takım tezgahlarında yapılan parça programı, kesici takımın parça üzerinde istenilen profil boyunca giderek talaş kaldırmasını sağlamaktadır. İşlenecek profil ve iş parçası malzemesinin özellikleri çok sayıda kesici takım çeşidi ortaya çıkarmıştır. Çalışma kapsamında endüstride yaygın olarak kullanılan eşkenar dörtgen kesici geometrisi 3B nesne olarak modellenmiştir.



Şekil 8. Kesici Takım 3B Model Görüntüsü (Cutting Tool 3D Model View) [4]

Poligon modelleme tekniğinde kesici takım ve iş parçası oluşturma yapısı birbirine çok yakındır. Temel olarak iki fark gözlemlenmektedir. Birincisi, iş parçasındaki uzunluk ve çap koordinatları yerine kesici takım sınır koordinat bilgilerine ihtiyaç duyulur. İkincisi ise iş parçası 3B modelinin oluşturulmasında döndürerek süpürme işlemi uygulanırken kesici takım modelinde doğrusal süpürme işlemi uygulanır. Bu çalışma kapsamında kullanılan kesici takım model parametreleri; uç kavisi, kenar uzunluğu, uç açısı ve yaklaşma açısıdır. Diğer değişkenler bu eşitliklere bağlı olarak parametrik hesaplanmıştır. Kesici takım geometrisi endüstriyel kullanım açısından iş parçasından farklı olarak parametrik inşa edilir. ISO 13399 standardına göre kullanıcı tarafında serbest olarak değiştirilebilen takım tipi, iç çap, kesici kenar uzunluğu ve uç kavis bilgisi değişken parametre olarak tanımlanırken sınır koordinatları parametrik tanımlanır (Şekil 9).



Şekil 9. Eşkenar Dörtgen Kesici Parametreleri (Rhombus Cutting Tool Parameters) [4]

Çalışmada takım geometrisi, eşkenar dörtgen olarak hazırlanmıştır. Bu kesici takımlar tornalama operasyonlarında yaygın kullanıma sahiptir. Parametrik eşkenar dörtgen takım sınır şartları;

$$P_1 = (0,0)$$

$$P_2 = P \left(\cos \left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2} - K_r \right) \frac{r_\varepsilon}{\sin \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)}, \sin \left(\frac{3\pi}{2} - \frac{\varepsilon}{2} - K_r \right) \frac{r_\varepsilon}{\sin \left(\frac{\varepsilon}{2} \right)} \right)$$

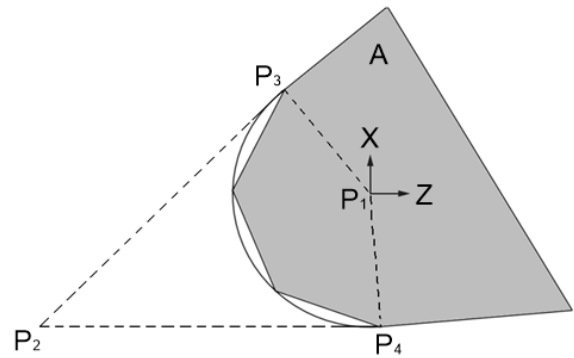
$$P_3 = P(\cos(\pi - K_r)r_\varepsilon, \sin(\pi - K_r)r_\varepsilon)$$

$$P_4 = P \left(\cos \left(K_\varepsilon - \frac{\pi}{2} \right) r_\varepsilon, \sin \left(K_\varepsilon - \frac{\pi}{2} \right) r_\varepsilon \right)$$

$$P_5 = P \left(P_{2x} + \cos \left(\frac{\pi}{2} - K_r \right) L, P_{2y} + \sin \left(\frac{\pi}{2} - K_r \right) L \right)$$

$$P_6 = P \left(P_{2x} + \cos \left(\frac{\pi}{2} - K_r - \varepsilon \right) L, P_{2y} + \sin \left(\frac{\pi}{2} - K_r - \varepsilon \right) L \right)$$

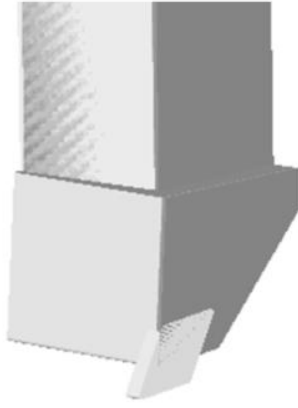
Burada P_1 kesici uç yarıçap merkez koordinatını gösterirken, diğer P_2, P_3, \dots, P_6 değerleri ise kesici takımın köşe koordinatlarını belirtmektedir. Değişken değerler uç kavisi r_ε , kenar uzunluğu l ve uç açısı ε değişkenleri kullanılarak yukarıdaki eşitlikler hesaplanır.



Şekil 10. Kesici Uç Yarıçap Poligon Görüntüsü (Cutting Tool Edge Radius Polygon View) [4]

Kesici takım doğrular yardımı ile çizdirileceğinden dolayı uç kavisi küçük doğru parçaları ile modellenmiştir (Şekil 10). 2B düzlem üzerinde hazırlanan kesici takım poligon geometrisinin 3B olarak dönüştürülmesinde doğrusal süpürme işlemi uygulanır. Bu işlem, kesici takımını oluşturan poligon doğrularının belirtilen bir vektörde tekrar oluşturulup aralarının ağ örme metodu kullanılarak kapatılmasıyla olur. Süpürülecek poligon modelde;

- Poligon doğru parçalarından oluşan bir yapı olarak düşünülmelidir.
- Doğru düzlem üzerinde süpürüldüğünde süpürme doğrultusu doğru hattı doğrultusuna yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi paralel ise dörtgen oluşturulur.

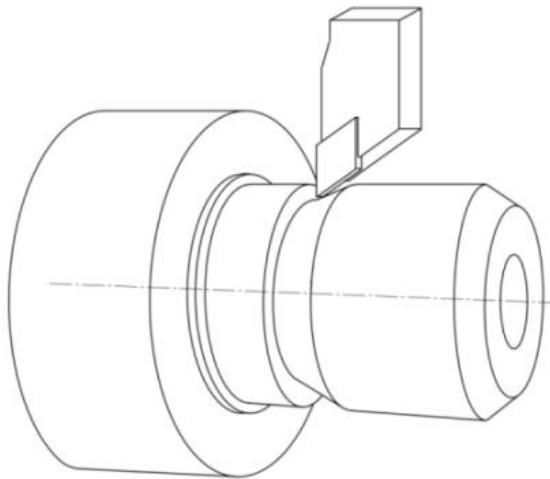


Şekil 11. Süpürülmüş Kesici Takım Model Görüntüsü (Swept Cutting Tool Model View) [4]

Poligonun tüm kenar çizgileri için süpürme işlemi uygulandığında nihai süpürülmüş poligon yapısı elde edilmiş olur (Şekil 11).

2.3. Poligon Kırma Tekniği ile Etkileşim Modelinin Hazırlanması (Creation of interaction model using polygon clipping technic)

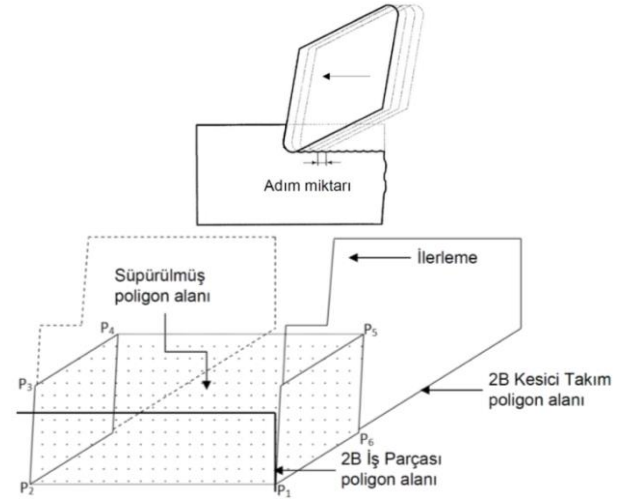
Simülasyon ekranındaki tüm hareketler belirli bir matematiksel altyapı ile oluşmaktadır. İş parçasına ait poligon gerçek ortamda dönme işlemi yapsa da sanal ortamda bu parça sabit olarak işlenmektedir. Bu dönme hareketinin simülasyon kalitesi yada hesaplamalar için herhangi bir katkısı olmayacaktır.



Şekil 12. 3B Nesne Etkileşimi (3D Model Interaction)

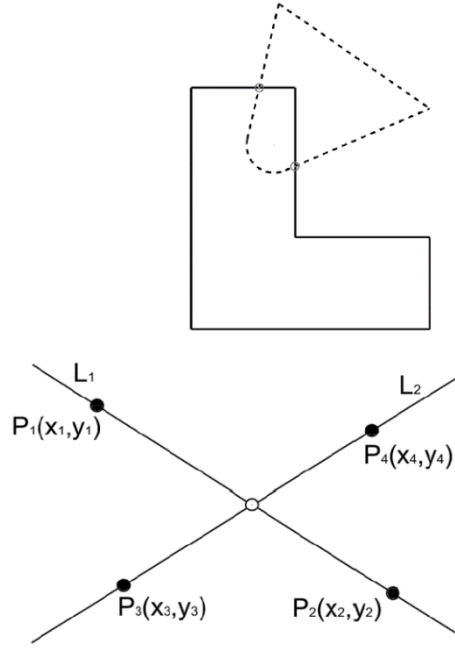
Simülasyon esnasında poligonlarda oluşan tek değişiklik parçaların birbirleri ile temasında oluşan kırma işleminden dolayı meydana gelmektedir. Diğer taraftan kesici takım poligonu iş parçası gibi sabit değildir. Takım yolu içinde verilen koordinatlara göre kesici takım poligon yapısı hareket etmektedir. Dolayısıyla simülasyon boyunca kesici takım hareketi hesaplanmaktadır. Tüm simülasyon bu iki poligon yapısının 2B olarak hesaplanması ile gerçekleşir. Ardından elde edilen veriler 3B ortamda işlenerek nihai iş parçası modeli oluşturulur (Şekil 12).

Talaş kaldırma sürecinde kesici takım ve iş parçası poligon geometrisi zamana bağlı olarak sürekli çıkarılır. İş parçasının doğruluğu açısından bu etkileşimin kesişim noktalarının doğruluğu en önemli problemdir. Ayrıca simülasyonun hesaplama zamanını etkileyen en kritik parametredir. Bundan dolayı kesişim algoritmasının optimize edilmesi önemlidir.



Şekil 13. 2B kesici takım - iş parçası dinamik etkileşim görüntüsü (2D cutting tool - workpiece dynamic interaction view) [4]

Parça programında tanımlanan her kesici takım hareketi işleme süresi içinde tek adımda gerçekleşir. Ancak simülasyon ekranında sistemin belirli bir sürede kat etmesi gereken bu mesafe ilerleme değerine bağlı olarak "n" adımda gerçekleştirilir. Tüm adımlarda kesici takımın ilk pozisyonu ile son pozisyonu arasında kapalı bir poligon geometrisi oluşturulur ve bu alana süpürülmüş alan adı verilir. İş parçası geometrisi ve kesici takım süpürme alanı kesişim noktaları bulunarak birbirinden çıkartılır. Bu işlem her adımda tekrarlanır. İş parçası ve kesici takımın poligon geometrilerinin oluşturduğu doğru parçalarının birbirleri ile kesişim noktasının bulunması ile iş parçası geometrisi yenilenir. İki doğrunun kesişim noktasının bulunmasında aşağıdaki algoritma kullanılır.



Şekil 14. Doğru kesişimlerinin belirlenmesi (Defining of line intersection) [4]

L_1 ve L_2 doğrularının birbirleri ile kesiştikleri noktanın bulunması için doğru üzerindeki koordinatları belirli nokta dizilerinin oluşturulması gerekir.

$P_1 = (x_1, y_1), P_2 = (x_2, y_2), P_3 = (x_3, y_3), P_4 = (x_4, y_4)$

İki doğru için doğrusal eşitlik yazarsak eğer;

$$L_1 \rightarrow A_1x + B_1y = C_1 \quad A_1 = y_2 - y_1 \quad B_1 = x_1 - x_2$$

L_1 ve L_2 doğru eşitliği bir matris içerisinde yazılabilir.

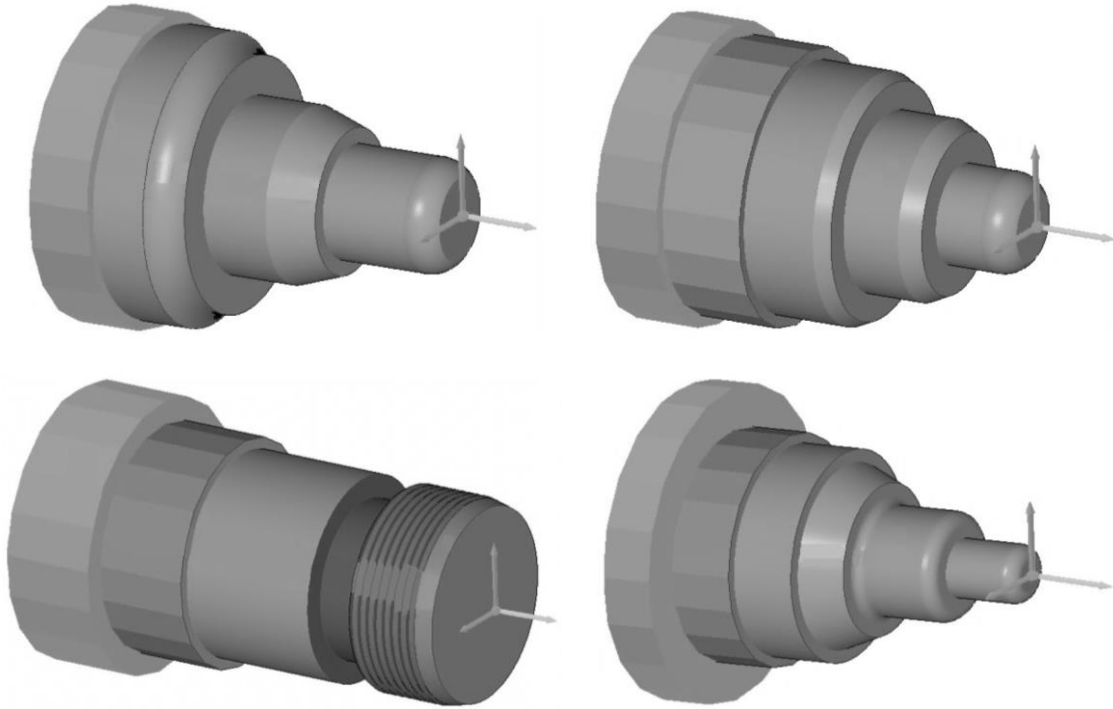
$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

Bu matris ile kesişim noktasının x ve y koordinatları bulunabilir.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \frac{1}{A_1B_2 - A_2B_1} \begin{bmatrix} B_2 & -B_1 \\ -A_2 & A_1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \end{bmatrix}$$

3B NC kod simülasyonunda bu etkileşim her adımda hesaplanmaktadır (Şekil 4). Bu bilgiler farklı CNC kontrol sistemlerine göre değişse de genel olarak G01, G02 ve G03 gibi alfasayısal değerler ile ifade edilir. Kesici takım poligon geometrisi 2B uzayda hesaplanan yeni koordinat bilgilerine göre hareket eder. Tüm hareket anında 2B kesici takım profili XZ düzlemine dik doğrultuda süpürülür ve 3B görüntü elde edilir. Tüm matematiksel hesaplamalar 2B düzlem üzerinde gerçekleşmektedir. İşlemler, bir döngü içerisinde uygulanır ve her adımdaki kesici takım – iş parçası kesişim noktaları ile iş parçası 2B poligon geometrisi güncellenmiş olur. Bu anlık hesaplamalar ile yeni kesişim noktaları ile hesaplanmış 2B kesici takım poligon geometrisi, 3B görüntünün elde edilmesi için anlık süpürülür. Süpürülme sonunda anlık 3B iş parçası geometrisi elde edilir. Aşağıda etkileşim sonucu elde edilmiş iş parçası sonuçlarına ait görüntüler sunulmuştur (Şekil 15)



Şekil 15. Hesaplanmış İş Parçası Model Görüntüleri (Calculated Workpiece Model Views)

$$L_2 \rightarrow A_2x + B_2y = C_2 \quad A_2 = y_3 - y_4 \quad B_2 = x_3 - x_4$$

3. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Günümüz talaşlı üretim sistemleri için önemli bir yer tutan CNC torna operasyonlarının takım yolu doğrulamasının yapılması sanal imalat sistemleri için önemli bir araştırma konusu olmuştur. Bu çalışmada, CNC tornalama operasyonlarının sanal ortamda benzetiminin yapılabilmesi için sınır temsili metodu kullanarak iş parçası ve kesici takım modelleme yöntemi tanıtılmıştır. İlk olarak, iş parçası ve kesici takım geometrisi 2B poligon yapısı ile oluşturulmuştur. Ardından, iş parçası 2B poligon yapısı 360° döndürülerek süpürme işlemi uygulanmıştır. Kesici takım modeli ise doğrusal süpürme işlemi ile 3B model formatına dönüştürülmüştür. Poligon tabanlı oluşturulan nesnelerin etkileşim hesaplamalarında poligon kırma algoritmaları kullanılmaktadır. Poligonlar arası kesişim noktalarının bulunması problemleri için literatürde birçok araştırma mevcuttur. Endüstrideki 3B sanal imalat simülasyonlarında farklı etkileşim algoritmalarından faydalanılmıştır. Bu çalışmada da literatüre ek olarak yeni bir etkileşim modeli hazırlanmıştır. Böylece hızlı bir model oluşturma ve etkileşim hesabının gerçekleştirilmesi sağlanmıştır. Bu çalışma, sanal imalat sistemi üzerine geliştirme faaliyetleri yapacak araştırmacılar için nesne modelleme yöntemlerine ışık tutması beklenmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Karanukaran K.P., Shringi R., Singh K., "Virtual Machining", *Modern Machine Tools Technofocus*, 62-68 (2004).
2. Gülesin M., "CNC Freze Tezgahları için Program Hazırlama ve Bilgisayarda Simülasyonu", *Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (1986).
3. Özdemir A., "CNC Torna Tezgahlarına Hazırlanan İş Üretme Programının Bilgisayar Yardımı ile Simülasyonu", *Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (1988).
4. Gökçe H., "CNC Torna Tezgahları için 3B Simülasyon Programının Geliştirilmesi ve Sanal İşleme", *Gazi Üniversitesi Doktora Tezi*, (2014).
5. Chen Z., "Development of OpenGL Based 3D Simulator for Computer Numerical Control", *International Conference of Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 6-10, (2010).
6. Mann S., Bedi S., Israeli G., Zhou X., "Machine Models and Tool Motions for Simulating Five Axis Machining", *Computer Aided Design*, 231-237 (2010).
7. Hanwu H., Yueming W., "Web Based Virtual Operating of CNC Milling Machine Tools", *Computers in Industry*, 686-697 (2009).
8. Lee S., Lin H., "Development of Universal Environment for Constructing Fixe Axis Virtual Machine Tool Based on Modified D-H Notation and OpenGL", *Robotics&Computer Integrated Manufacturing*, 253-262 (2010).
9. Yeğin, E., "An Advanced Machining Process Simulator for Industrial Applications", *Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi*, (2010).
10. Kadir A., Xu X., Hammerle E., "Virtual Machine Tools and Virtual Machining", *Robotics&Computer Integrated Manufacturing*, 494-508, (2011).

Akademik Araştırma Projelerinin AHP ve TOPSIS Yöntemleri Kullanılarak Değerlendirilmesi

Murat ARIBAŞ¹, Uğur ÖZCAN²

¹Enerjisa, Kızıllırmak Mahallesi Ufuk Üniversitesi Caddesi No: 1 Başkent Kule, 06510, Çukurambar, Ankara

²Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 06570, Maltepe, Ankara

(Geliş / Received : 29.06.2015 ; Kabul / Accepted : 07.08.2015)

ÖZ

Kaynakların kısıtlı olduğu bir dünyada yaşadığımızı düşündüğümüzde, bu kaynakları en etkin ve verimli şekilde dağıtmak önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle hazırlanan akademik araştırma projelerinin önem dereceleri ve yeterlilikleri değerlendirilerek en iyilerinin seçilmesi ve desteklenmesi gerekmektedir. Çalışmada AHP (Analitik Hiyerarşi Süreci) ve TOPSIS (İdeal Çözüme Benzerliğe Göre Tercih Sıralama Tekniği) yöntemleri birlikte kullanılarak akademik araştırma projelerinin değerlendirilmesine yönelik yeni bir metodoloji önerilmiştir. Bu kapsamda ilk olarak akademik araştırma projelerinin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterler belirlenmiş, daha sonra AHP yöntemi ile kriterler ağırlıklandırılmıştır. Elde edilen ağırlıklar TOPSIS algoritmasında kullanılarak bir örnek üzerinden akademik araştırma projelerinin önem dereceleri hesaplanmış ve alternatifler önem derecelerine göre sıralanmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı açılardan karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Araştırma projesi değerlendirme; Çok kriterli karar verme; Kriter ağırlıklandırma; Proje sıralama; AHP; TOPSIS.

Evaluation of Academic Research Projects Using AHP and TOPSIS Methods

ABSTRACT

When it is thought that human beings live in a world where resources are limited, the most effective and efficient way to distribute resources becomes a major problem. Hence it is needed that academic research projects should be evaluated and selected in terms of their significance and qualifications. In the study, a new methodology which includes a combination of AHP (Analytic Hierarchy Process) and TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) methods to evaluate academic research projects is suggested. Firstly, the criteria that will be used in the evaluation are determined and then those criteria are sorted in terms of their importance by using AHP method. Sorted criteria are calculated to define the degree of importance of projects based on an example by using TOPSIS algorithms. After that data are analyzed by comparing in different aspects.

Keywords: Evaluation of research projects; Multi criteria decision making; Criteria weights; Ranking Project; AHP; TOPSIS

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan üniversite ve akademisyen sayısı, üniversitelerin araştırma faaliyetlerine daha fazla ilgi göstermesi ve çeşitli devlet kurumlarınca verilen destek/hibeler hazırlanan akademik araştırma projelerinin sayı ve kalitesini artırmıştır. Her ne kadar yapılan her akademik araştırma projesi belirli bir amaç ve önem taşısa da zaman, para, iş gücü gibi kısıtlı kaynaklar bu çalışmaların arasından en iyilerini seçmeyi gerektirmektedir [1]. Kısıtlı kaynakların en etkin ve verimli şekilde kullanılması için en iyi çalışmaları belirlemek ise akademik araştırma projelerinin değerlendirilmesini daha da önemli bir problem haline getirmektedir.

Farklı amaçlara hizmet eden projelerin kendi aralarında karşılaştırılarak hangi projenin daha iyi olduğunun belirlenmesi oldukça zor bir süreçtir. Ayrıca değerlendirme sürecinde birden fazla değerlendiricinin, birden fazla

kriter üzerinden karar veriyor olması bu süreci daha da karmaşık bir hale getirmektedir [2]. Dolayısıyla bu zor ve karmaşık yapı içerisinde en doğru seçimi sağlayacak sistematik bir değerlendirme süreci geliştirilmesi gerekmektedir.

Yapılan bu çalışmayla, belirli bir alanda alınan hibe/destek başvurularının bilimsel açıdan yeterliliklerinin, birden fazla değerlendirici tarafından belirli kriterler altında değerlendirilmesine yönelik sistematik bir karar sürecinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Buna yönelik olarak ülkemizde akademik projelerin desteklenmesinde öncü kurumlardan TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) tarafından uygulanan değerlendirme süreci ele alınmıştır. Bu kapsamda ele alınan akademik araştırma projeleri önem derecelerine göre sıralanarak bunlar arasından en yüksek potansiyele sahip olanların seçilmesi planlanmıştır.

Çalışma kapsamında ilk olarak, projelerin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterlere karar verilmiştir. Ana kriterler TÜBİTAK tarafından kullanılan kriterler

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: uozcan@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 163-173

arasından seçilmiş ve her bir ana kriterin alt kriterleri oluşturulmuştur. Oluşturulan kriterler arasındaki önem ilişkileri yapılan anketlerle incelenmiştir. Çalışmanın devamında çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP ve TOPSIS yöntemi birlikte kullanılmıştır. Literatürde birçok kez birlikte kullanılan bu iki uygulamadan AHP yöntemi ile değerlendirilmede kullanılan kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları ise TOPSIS yönteminde girdi olarak kullanılarak projelerin önem derecelerine göre sıralaması oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI (LITERATURE)

Mehrez ve Sinuany-Stern [3] proje seçimi problemini Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) problemi olarak ele almıştır. Bu tip problemlerin çözümü için literatürde birçok ÇKKV yöntemi bulunmaktadır. Bunlar arasında AHP, ANP (Analytical Network Process), TOPSIS, PROMETHEE (The Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation), ELECTRE (Elimination et Choix Traduisant la Realite) yöntemleri sayılabilir. Her bir yöntemin diğerlerinden üstün olduğu noktalar bulunmaktadır [4]. Bu nedenle ele alınan problemde hangi ÇKKV yönteminin uygulanacağını seçmede problemin doğası, seçenek çeşitleri, değerlendirme ölçeği, belirsizlik tipi, nitelikler arasındaki bağımlılık, karar vericinin beklentileri ve kullanılacak verinin miktarı ve kalitesi gibi faktörler dikkate alınmalıdır [5].

ÇKKV yöntemlerinden AHP yöntemi az sayıda alternatifin yer aldığı karmaşık problemlerin çözümünde oldukça kullanışlıdır [6]. Saaty [7] tarafından geliştirilen bu matematiksel teoremin temelinde ikili karşılaştırmalarla seçim yapılması yatmaktadır. Yapısının basit ve kolay anlaşılır olması nedeniyle AHP yöntemi, ÇKKV problemlerinde kriter ağırlıklarının belirlenmesinde literatürde oldukça popüler bir yöntemdir.

TOPSIS yöntemi ise Hwang ve Yoon [8] tarafından geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem üretim, pazarlama, planlama, grup karar verme, kaynak dağıtım, eğitim, sağlık, pazar seçimi, ulaştırma, silah seçimi, karar destek vb. birçok alanda uygulanabilmektedir [9]. Çok fazla sayıda alternatifin sıralayabilmesi ve en iyi alternatifini hızlıca belirleyebilme avantajına sahip olması nedeniyle TOPSIS yöntemi en iyi çok amaçlı karar verme yöntemlerinden biri olarak görülmektedir [5].

AHP yönteminin kriter ağırlıklarını belirlemedeki üstünlüğü ve TOPSIS yönteminin çok sayıda alternatifi sıralamadaki becerisi, bu iki yöntemin farklı alanlardaki çalışmalarda birçok kez birlikte kullanılmasını sağlamıştır [10-13].

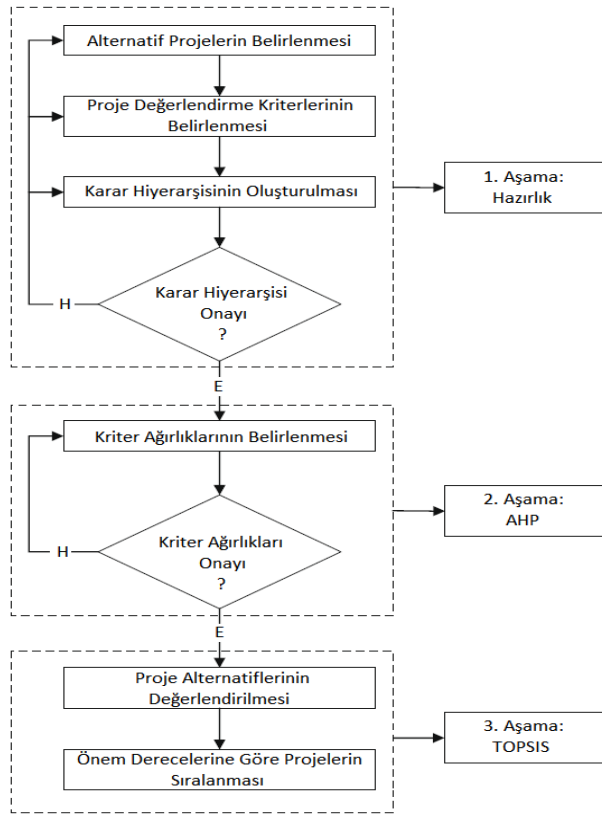
Genel olarak literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında, ÇKKV yöntemlerinin akademik araştırma projelerine aktarılan kaynak/fon miktarlarının analizine dönük olarak kullanıldığı görülmektedir. Akademik araştırma projelerinin değerlendirmesine yönelik ise yeterli sayıda çalışmanın olmadığı görülmüştür. Bu nedenle çalışılan konuya biraz daha geniş açıdan yaklaşmış ve proje performans, değerlendirme ve seçimine yönelik yapılan çalışma konusu ile benzer çalışmalar incelenmiştir.

Lee vd. [14] III. Ulusal Araştırma Geliştirme Programı kapsamında Bilim Teknoloji ve Araştırma Merkezleri ile Bilim ve Teknoloji Bakanlığı gibi kurumların proje değerlendirmelerinde kullandığı yöntemleri ve Kore'de mevcut kullanılan yöntemlerle ilgili problemleri incelemiş, değerlendirme sisteminin daha iyi yönetilebilmesine yönelik öneriler sunmuştur. Korhonen vd. [15] Veri Zarflama Analizi metodu kullanarak bir üniversitenin farklı araştırma birimlerinde yapılan çalışmaların belirli kriterler altında değerlendirmiş, böylece kaynakların başarı faktörüne göre birimler arasında en verimli şekilde dağıtılabileceği bir yaklaşım geliştirmiştir. Geuna ve Martin [16] 12 Avrupa ülkesi ve Asya-Pasifik bölgesinde Üniversite Araştırma Projelerinin fonlanmasına yönelik değerlendirme yöntemlerini araştırmış, performans bazlı fonlama yöntemini diğer yöntemlerle karşılaştırmıştır. Buna göre projelerin başlangıç getirileri yüksek görünse de ilerleyen süreçte bu getirilerin azalacağı ve bu nedenle performans bazlı değerlendirmenin önemli olduğu çıkarımı yapılmıştır. Bölükbaş vd. [17] yapılan bir araştırma projesinin tipinin, değerlendirmede (fon desteği alabilmesinde) oldukça önemli olduğunu savunmuştur. Buna göre çalışmada, ÇKKV yöntemlerinden yararlanılarak bir projenin farklı araştırma projesi destekleme programlarından hangisine en uygun olduğunu belirlemeye yönelik bir metodoloji geliştirilmiştir. Thamhain [18] yapmış olduğu araştırmalar doğrultusunda proje teklifi değerlendirme sürecinin analitik metotlara dayanması gerektiğini vurgulamıştır.

3. ÖNERİLEN YÖNTEM (PROPOSED METHOD)

Bu çalışmada akademik araştırma projelerinin değerlendirilmesinde izlenilmesi önerilen yol, akademik araştırma projelerinin değerlendirilmesinde kullanılacak kriterlerin belirlenmesi ve karar hiyerarşisinin oluşturulması, kriter ağırlıklarının hesaplanması ve alternatiflerin önem derecelerine göre sıralanması olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. Şekil 1'de yöntem önerisine şematik olarak yer verilmiştir.

Kriter ağırlıklarının hesaplanmasında esnekliği ve karar problemlerinin çözümündeki yeterliliğiyle bilinen AHP yönteminin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca kriter ve alternatiflerin ikili olarak kıyaslanmasını temel alan AHP yöntemi literatürde yoğun olarak yer almaktadır. Yapısının basit olması sayesinde uygulama kolaylığının bu duruma neden olduğu söylenebilir [19]. AHP yöntemi ikili karşılaştırmalar yapması nedeniyle ancak kriter ve alternatif sayısının az olduğu uygulamalarda pratik olarak kullanılabilir. Bu nedenle çok sayıda ikili karşılaştırmadan kaçınmak için, çalışmada AHP yönteminin sadece kriter ağırlıklarının belirlenmesinde kullanılması önerilmiş, alternatiflerin önem derecelerine göre sıralanmasında TOPSIS yönteminin kullanılması önerilmiştir.



Şekil 1. Önerilen proje seçimi modeli (The proposed project selection model)

Bir ÇKKV tekniği olan TOPSIS yönteminin temelinde pozitif ideal çözüme en yakın, negatif ideal çözüme ise en uzak noktanın seçilmesi düşüncesi yer almaktadır. Diğer bir ifadeyle, alternatiflerin önem derecelerinin belirlenmesinde hem en iyi hemde en kötü alternatif eş zamanlı olarak hesaba katılmaktadır. Çalışmada önerilen AHP ve TOPSIS yöntemleri adımları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

3.1. AHP Yöntemi (AHP Method)

AHP yöntemi, hiyerarşik yapının kurulması, ikili karşılaştırma matrisinin oluşturulması, görelî önem vektörünün (özvektörün) hesaplanması ve faktör kıyaslamalarındaki tutarlılığın hesaplanması adımlarından oluşmaktadır. Çalışmada AHP yöntemi sadece kriter ağırlıklandırılmalarında kullanıldığı için, yöntemin alternatif karar noktaları için uygulanan adımlarına yer verilmemiştir.

1. Adım: Hiyerarşik Yapının Kurulması

En üstte problemin amacı, orta seviyede kriterler ve en alt seviyede alternatifler bulunacak şekilde yukarıdan aşağıya hiyerarşi oluşturulur.

2. Adım: İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterler ve alternatifler kendi içerisinde ikili olarak kıyaslanarak Eş. 1'de gösterilen $(n \times n)$ ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Faktörlerin ikili olarak karşılaştırılmasında Çizelge 1'de yer alan önem ölçeği kullanılır.

Çizelge 1. Önem ölçeği (Importance of scale)

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Eşit derecede önemli
3	Kısmen daha önemli
5	Kuvvetle daha önemli
7	Çok kuvvetle daha önemli
9	Aşırı derecede daha önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

3. Adım: Görelî Önem Vektörünün (Özvektörün) Hesaplanması

İkili karşılaştırma matrisinde yer alan değerler aşağıda Eş. 2 ve Eş. 3'de yer alan formüller içerisinde kullanılarak ilgili matristeki her bir faktörün diğer faktörlere göre önemini gösteren görelî önem vektörü hesaplanır.

$$b_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n b_{ij}}{n} \quad (3)$$

Buna göre oluşturulan görelî önem vektörü Eş. 4'de gösterilmektedir.

$$W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ w_n \end{bmatrix} \quad (4)$$

4. Adım: Faktör Kıyaslamalarındaki Tutarlılığın Hesaplanması

Oluşturulan tüm ikili karşılaştırma matrisleri için tutarlılık oranı (CR) hesaplanır. Hesaplanan bu oranın 0.10'den büyük olması karşılaştırmaları yapan kişinin yargılarında tutarsızlık olduğunu gösterir. Bu durumda karşılaştırmaların tekrar gözden geçirilmesi ve yargıla-

rın iyileştirilmesi gerekmektedir. CR değerinin hesaplanabilmesi için öncelikle ikili karşılaştırma matrisinin en büyük özvektör (λ_{\max}) değeri hesaplanmalıdır.

$i=1, 2, \dots, n$ ve $j=1, 2, \dots, n$ olmak üzere,

$$[a_{ij}]_{n \times n} \times [w_i]_{n \times 1} = [d_i]_{n \times 1} \quad (5)$$

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{w_i}}{n} \quad (6)$$

Tutarlılık oranının hesaplanmasında, karşılaştırmada yer alan faktör sayısına (n) bağlı rassallık endeksi (RI) kullanılmaktadır. n değerlerine göre belirlenen RI değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir. Elde edilen girdiler doğrultusunda CR değerinin hesaplanması Eş. 7'de gösterilmiştir.

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n-1) \cdot RI} \quad (7)$$

Çizelge 2. Rassallık indeksi (Randomness index)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

AHP sürecinde kriter ağırlıkları, konu ile ilgili uzmanlara yapılan anketler sonucunda, yani bir grup kararına bağlı olarak belirlenir. Buna göre üç yaklaşım kullanılabilir. Bunlar, uzmanların belirli bir kriter üzerinde uzlaşması, uzmanların ortak fikir beyan edemedikleri durumda seçeneklerin oylanması ve geometrik ortalama yaklaşımlarıdır [20].

Geometrik ortalama yaklaşımında, k . uzmanın i . kriter ile j . kriteri karşılaştırması değeri a_{ij}^k olmak üzere n adet uzmanın ortak kararı geometrik ortalama yöntemi kullanılarak $a_{ij}^k = [a_{ij}^1 * a_{ij}^2 * \dots * a_{ij}^n]^{1/n}$ şeklinde tek bir değere indirgenir. Geometrik ortalama yöntemi en çok kullanılan yaklaşımlardan birisidir [20].

3.2. TOPSIS Yöntemi (TOPSIS Method)

TOPSIS yöntemi, karar matrisinin (A) oluşturulması, standart karar matrisinin (R) oluşturulması, ağırlıklı standart karar matrisinin (V) oluşturulması, ideal (A^*) ve negatif ideal (A^-) çözümlerin oluşturulması, ayırım ölçütlerinin hesaplanması ve ideal çözüme göreli yakınlığın hesaplanması adımlarından oluşmaktadır.

1. Adım: Karar Matrisinin (A) oluşturulması

Öncelikle, satırlarında üstünlükleri sıralanmak istenilen alternatiflerin, sütunlarında ise karar vermede esas alınan değerlendirme kriterlerinin yer aldığı karar matrisi oluşturulur. Karar verici tarafından m alternatif ve n değerlendirme kriterinden oluşturulan, bu aynı zamanda başlangıç matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (8)$$

2. Adım: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

Karar matrisinde yer alan başlangıç değerleri aşağıdaki formül kullanılarak standart hale getirilir.

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (9)$$

Karar matrisindeki tüm başlangıç değerlerinin normalize edilmesi sonucu aşağıda R ile ifade edilen standart karar matrisi oluşturulur.

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (10)$$

3. Adım: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

İlk olarak değerlendirme kriterlerinin ağırlık oranları (w_i) belirlenir.

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \quad (11)$$

Sonrasında R matrisinde bulunan her bir değer, bağlı olduğu kriterin w_i değeri ile çarpılarak Ağırlıklı Standart Karar Matrisi (V) oluşturulur.

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (12)$$

4. Adım: İdeal (A^*) ve Negatif İdeal (A^-) Çözümlerin Oluşturulması

TOPSIS yöntemi her bir değerlendirme kriterinin monoton artan veya azalan bir eğilim gösterdiğini varsaymaktadır. Bu nedenle V matrisinin her bir sütununda yer

alan maksimum değer İdeal (A^*) çözümü, minimum değer ise Negatif İdeal (A^-) çözümü ifade eder.

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (13)$$

Eş. 13'den hesaplanacak set $A^* = \{v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*\}$ şeklinde gösterilebilir.

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (14)$$

Eş. 14'den formülünden hesaplanacak set $A^- = \{v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-\}$ şeklinde gösterilebilir.

5. Adım: Ayrım Ölçütlerinin Hesaplanması

Her bir karar noktasının kriter değerinin, ideal ve negatif ideal çözüm noktalarına olan uzaklığının hesaplanabilmesi için Euclidian Uzaklık Yaklaşımından faydalanılır. Buna göre her bir alternatifin ideal çözümden uzaklığı ideal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal çözümden uzaklığı negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçütleri aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (16)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (17)$$

6. Adım: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

İdeal ve negatif ideal ayırım ölçütleri kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) hesaplanır. Her bir alternatif için hesaplanan negatif ideal ayırım ölçütünün toplam ayırım ölçütü içindeki payı ilgili alter-

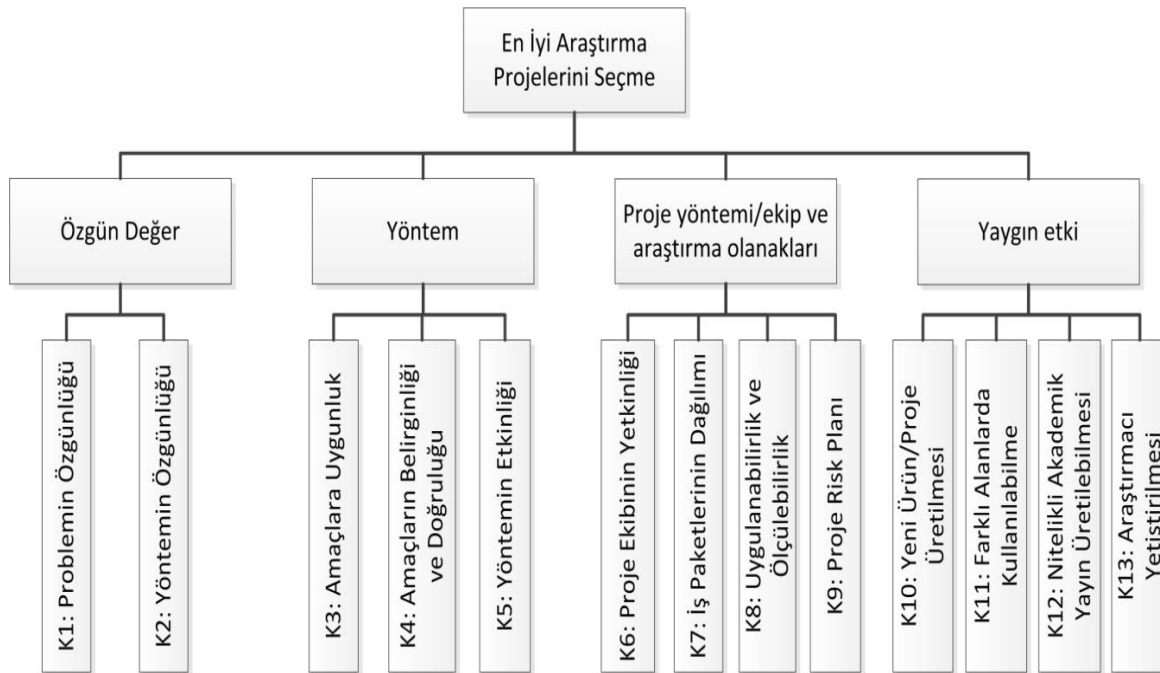
natifin C_i^* değerini gösterir. C_i^* değeri $0 \leq C_i^* \leq 1$ aralığında olup alternatifler C_i^* değerine göre sıralanır.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (18)$$

4. UYGULAMA (APPLICATION)

4.1. Kriterlerin Belirlenmesi (Determination of Criteria)

Hemen hemen her ülkede akademik araştırma projelerini teşvik eden, değerlendiren ve destekleyen çeşitli organizasyonlar bulunmaktadır. Bu organizasyonların temel amacı iyi araştırma projelerine kaynak sağlayarak bu tür çalışmaların devam etmesini sağlamak ve bir gelişmişlik elde etmektir. Bu nedenle, bu tip organizasyonlar tarafından en iyi akademik araştırma projelerini seçmek için bir değerlendirme sistemi oluşturulması ve bu sistemde amaçlara yönelik kriterlerin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Geuna ve Martin [16]'ın yapmış olduğu 10 Avrupa ülkesi, Avustralya ve Hong Kong'u kapsayan çalışmada her ne kadar her kurumun değerlendirme kriterleri farklı olsa da genel olarak kapsam/büyükük, etki, yararlılık ve kalite olmak üzere dört ana kriter üzerinde odaklanıldığı belirtilmiştir. Yapılan bu çalışmada ise kriterler, ülkemizde akademik araştırma projelerinin desteklenmesinde öncü kurumlardan olan TÜBİTAK-ARDEB tarafından Akademik Araştırma ve Geliştirme Projelerinin değerlendirilmesinde kullanılan kriterler arasından seçilmiş; bunlar projenin özgün değeri, yöntemi, proje yönetimi/ekip ve araştırma olanakları ve projenin yaygın etkisi olarak belirlenmiştir. Ayrıca her bir ana kriterin alt kriterleri oluşturulmuş ve projelerin



Şekil 2. Proje seçiminde kullanılan ana kriterler ve alt kriterler (The main criteria and sub-criteria used in project selection)

toplamda 13 alt kriter üzerinden değerlendirilmesi önerilmiştir. Kriterlerin belirlenmesi sonucunda oluşturulan hiyerarşik yapı Şekil 2’de verilmiştir

Akademik projelerin değerlendirilmesi probleminde kriterler ve kriter ağırlıkları önemli bir yere sahiptir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesi bir sonraki bölümde gösterilmiştir.

4.2. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması (Determination of Criteria Weight)

Çalışmanın bir sonraki basamağı olan alternatiflerin önem derecelerine göre sıralanması aşamasında, ilgili kriterlerin ağırlıklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Buna yönelik olarak kriter ağırlıklarının hesaplanmasında AHP yönteminden yararlanılmıştır. Yöntemin uygulanmasında MS Excel 2007 programında hazırlanan tablo ve formülasyonlar kullanılmıştır.

Çalışmada ana kriterler ve her bir ana kriterin alt kriterleri TÜBİTAK uzmanları/ yöneticileri, akademisyenler ve iş dünyasından kişiler olmak üzere üç ilgili grup tarafından, hazırlanan anketlerle önem ölçeğine göre ikili olarak kıyaslanmıştır. Böylece, projelerin değerlendirilmesi sürecinde farklı basamaklardaki (hazırlama, değerlendirme, uygulama) kişilerin görüşleri dikkate alınmıştır. Kıyaslamada öncelikle, ana kriterler kendi arasında karşılaştırılarak ağırlıkları hesaplanmıştır. Her bir alt kriter grubunun ağırlıkları toplamı, bağlı oldukları

lerde proje değerlendirmesinde yer alan uzmanlar, daha önce TÜBİTAK proje değerlendirmelerine katılan ve/veya akademik araştırma projesi hazırlayarak destek başvurusunda bulunan akademisyenler ve Teknokent firmalarında çalışan müdür ve direktör kademesindeki kişilerden faydalanılmıştır.

Anketlerden elde edilen veriler AHP yönteminde girdi olarak kullanılarak her bir anket için kriter ağırlıkları ve ikili karşılaştırma kümelerinin tutarlılık oranları hesaplanmıştır. Buna göre tutarlılık oranı (CR) 0.10’den büyük olan anketler değerlendirmeye alınmamıştır. Uzmanlar, akademisyenler ve iş dünyasından kişilerin anketlere vermiş oldukları cevaplardan ortak bir yapıya gidebilmek için geometrik ortalama alınarak her bir tablo için tek bir ikili karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Geometrik ortalama yaklaşımı literatürden ideal yaklaşım olarak görülmektedir.

İkili karşılaştırma matrislerinde yer alan değerler normalize edilmiş ve her bir kriterin ağırlığı hesaplanmıştır. Çalışmada ilk olarak, ikili kıyaslamalardan elde edilen ve geometrik ortalama alınması sonucu teklenen farklı grup verilerinden AHP yöntemi ile ana kriter ağırlıkları hesaplanmıştır. Farklı grupların değer yargılarına göre hesaplanan ana kriter ağırlıkları ve tüm kıyaslamalardan elde edilen ortak yargı sonucu hesaplanan ana kriter ağırlıkları Çizelge 3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3. AHP yönteminden elde edilen ana kriter sonuçları (The main criteria results obtained from AHP)

Grup	Ana Kriterler	W	λ_{max}	RI	CI	CR
TÜBİTAK Uzman/Yönetici	Özgün Değer	0.370	4.023	0.9	0.008	0.009
	Yöntem	0.136				
	Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.	0.194				
	Yaygın Etki	0.300				
Akademisyen	Özgün Değer	0.395	4.026	0.9	0.009	0.010
	Yöntem	0.137				
	Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.	0.208				
	Yaygın Etki	0.259				
İş Dünyası (Yönetici)	Özgün Değer	0.324	4.061	0.9	0.020	0.023
	Yöntem	0.157				
	Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.	0.253				
	Yaygın Etki	0.266				
Tüm Gruplar	Özgün Değer	0.375	4.027	0.9	0.009	0.010
	Yöntem	0.140				
	Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.	0.209				
	Yaygın Etki	0.276				

ana kriterin ağırlığına eşitlenmiş ve böylece ana kriterlerin alt kriterler üzerindeki etkisi de hesaba katılmıştır. Çalışmada kullanılan anket Ek 1’de yer almaktadır.

Hazırlanan anket 61 TÜBİTAK uzmanı/yöneticisi, 76 akademisyen ve iş dünyasından 26 yönetici olmak üzere toplamda 163 kişiye uygulanmıştır. Uygulanan anket-

Ana kriter ağırlıkları belirlendikten sonra alt kriter karşılaştırma kümeleri içinde AHP yöntemi uygulanarak alt kriter ağırlıkları belirlenmiştir. Yalnız her bir alt kriter bir ana kritere bağlı olduğu için, elde edilen alt kriter ağırlığı ile ilgili ana kriterin ağırlığı çarpılmıştır. Böylece ana kriterler arasındaki önemlilik ilişkisi alt kriterlere de yansıtılmıştır. AHP yöntemine göre

hesaplanan alt kriter ağırlıkları Çizelge 4'te gösterilmiştir. Her bir alt kriter kümesinin ağırlıkları toplamı, ilgili ana kriterin ağırlığına eşittir.

Yapılan anketler sonucu farklı grup değerlendirmelerinin-

4.3. Alternatiflerin Sıralanması (Sorting Alternatives)

Projeler farklı açılardan birbirlerine üstünlük sağlamaktadır. Dolayısıyla çalışmada bütünsel bir değerlendirme gerçekleştirebilmek için bir ÇKKV tekniği olan TOPSIS

Çizelge 4. AHP yönteminden elde edilen alt kriter sonuçları (The sub-criteria results obtained from AHP)

Ana Kriterler	Alt Kriterler	TÜBİTAK Uzman/Yönetici	Akademisyen	İş Dünyası (Yönetici)	Tüm Gruplar
Özgün Değer (AK1)	K1	0.252	0.260	0.180	0.244
	K2	0.118	0.135	0.145	0.130
Yöntem (AK2)	K3	0.053	0.053	0.058	0.054
	K4	0.016	0.019	0.014	0.017
	K5	0.068	0.066	0.084	0.070
Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan. (AK3)	K6	0.057	0.054	0.059	0.056
	K7	0.019	0.021	0.019	0.020
	K8	0.096	0.106	0.148	0.108
Yaygın Etki (AK4)	K9	0.022	0.027	0.027	0.025
	K10	0.106	0.082	0.078	0.090
	K11	0.047	0.039	0.036	0.041
	K12	0.042	0.040	0.032	0.040
	K13	0.105	0.098	0.120	0.105

den farklı grup ağırlıkları ortaya çıkmıştır. Çalışmanın amacı ise farklı gruplardan (TÜBİTAK uzman/yönetici, akademisyen, iş dünyasından kişiler) elde edilen görüşleri tek bir çatı altında toplamak ve Akademik Araştırma Projelerinin desteklenmesi sürecinde farklı basamaklarda (proje hazırlama, proje değerlendirme ve uygulama) yer alan kişilerin değer yargılarını sürece yansıtmaktır. Bu nedenle, çalışmanın bir sonraki aşaması olan TOPSIS yöntemi ile projelerin önem derecelerine göre sıralanması aşamasında Tüm Grup ağırlık değerleri kullanılmıştır.

yöntemi uygulanmıştır. Yöntemin uygulanmasında MS Excel 2007 programı tabloları, formülasyonları ve makro kodları kullanılmıştır.

TÜBİTAK'ın gizlilik politikasından dolayı gelen proje başvuruları ve değerlendirme puanları paylaşılamamıştır. Bu nedenle çalışmada, 200 akademik projeden oluşan bir örnek ele alınmıştır. Örnek için, belirlenen kriterler için akademik projelere 1-5 arasında rastsal puanlar atanmıştır. Projelerin sıralanmasında yararlanılacak kriter ağırlıkları ise bir önceki aşamada AHP yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5. Karar matrisi (A) (Decision matrix (A))

Proje	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	K13
P1	3.0	2.0	4.0	5.0	3.0	2.0	4.0	5.0	2.0	4.0	5.0	5.0	2.0
P2	5.0	4.0	2.0	4.0	5.0	4.0	2.0	4.0	4.0	2.0	4.0	4.0	4.0
P3	5.0	4.0	4.0	3.0	5.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.0	3.0	4.0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
P21	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0	5.0	3.0	5.0	5.0	3.0	3.0	5.0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
P123	2.0	5.0	5.0	2.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:	:
P199	5.0	5.0	3.0	2.0	5.0	5.0	3.0	2.0	5.0	3.0	2.0	2.0	5.0
P200	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	4.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	2.0

Panelistlerin projelere verdikleri puanların ortalama değerleri her bir kriter için aşağıda verilen karar matrisi (A) 'nde görülmektedir.

Karar matrisinin sütunlarında yer alan her bir değer, bulunduğu sütundaki bütün değerlerin kareleri toplamının kareköküne bölünmesiyle standart karar matrisi (R) oluşturulmuştur. Yine standart karar matrisinde yer alan değerlerin kriter ağırlıklarıyla çarpılması sonucu ağırlıklı standart karar matrisi (V) elde edilmiştir.

Ağırlıklı karar matrisinin her bir sütununda yer alan en büyük değer ideal çözümü (A_j^+) en küçük değer ise negatif ideal çözümü (A_j^-) ifade etmektedir. Buna bağlı olarak ideal ve negatif ideal çözümlere ulaşılmıştır. Euclidian uzaklık yaklaşımından yararlanılarak her bir alternatifin ideal çözümden uzaklığı ideal ayırım (S_i^*) ve negatif ideal çözümden uzaklığı negatif ideal ayırım (S_i^-) ölçütleri hesaplanmıştır. Sonrasında ise bu ayırım ölçütleri kullanılarak her bir alternatifin ideal çözüme göreli yakınlığı (C_i^*) bulunmuştur. Hesaplanan değerler sıralı halde Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Yöntem, Proje Yönetimi/Ekip ve Araştırma Olanakları, Yaygın Etki) altında yer alan 13 alt kriter üzerinden değerlendirilmiştir.

Elde edilen kriter ağırlıkları incelendiğinde, gruplara göre ağırlık değerleri farklılık gösterse de önem sıralaması olarak aynı sıranın takip edildiği gözlemlenmiştir. Özgün Değer tüm anket grupları tarafından en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Ortak yargıya bakıldığında ana kriterlerin ağırlıklarına göre büyükten küçüğe Özgün Değer, Yaygın Etki, Proje Yönetimi/Ekip ve Araştırma Olanakları ve Yöntem şeklinde sıralandığı görülmektedir.

Çalışmada her bir ana kriterin ağırlığı, kendisine bağlı alt kriterlere AHP yönteminden elde edilen ağırlıklar oranında dağıtılmıştır. Buna göre en önemli alt kriter, ağırlığı 0.244 olarak hesaplanan Problemin Özgünlüğü olarak belirlenmiştir. Anketlerden elde edilen sonuçlara göre Problemin Özgünlüğü tüm alt kriter ağırlıklarının yaklaşık %25'ine denk gelmektedir. En büyük önem derecesine sahip ilk dört kriterin ağırlıkları toplamı ise tüm kriter ağırlıklarının %58'inden büyüktür. Alt kriterlerden Amaçların Belirginliği ve Doğruluğunun ise 0.017 ağırlık değeriyle, kıyaslanan 13 alt kriterden en düşük öneme sahip olduğu görülmektedir.

Çizelge 6. TOPSIS yönteminden elde edilen proje değerlendirme sonuçları (The project evaluation results obtained from the TOPSIS method)

Sıra	Proje Adı	S_i^*	S_i^-	C_i^*
1	Proje 21	0.005	0.029	0.840
2	Proje 184	0.006	0.027	0.813
3	Proje 28	0.007	0.027	0.801
4	Proje 176	0.007	0.026	0.794
5	Proje 3	0.007	0.026	0.786
:	:	:	:	:
74	Proje 123	0.016	0.021	0.576
:	:	:	:	:
199	Proje 193	0.028	0.004	0.118
200	Proje 116	0.030	0.001	0.042

5. SONUÇ VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Ülkemizde araştırma projeleri bakanlıklar, üniversiteler ve TÜBİTAK tarafından teşvik edilmekte, değerlendirilmekte, desteklenmekte ve takip edilmektedir. Ancak üretilen Akademik Araştırma Projelerinin sayısı, içeriği, kalitesi ve sınırlı kaynaklar birlikte düşünüldüğünde bütün projelerin desteklenmesinin mümkün olmadığı görülmektedir. Bu nedenle kurum ve kuruluşlar hibelerin en etkin ve verimli şekilde kullanılması için en iyi projeleri desteklemeye büyük önem vermektedirler.

Yapılan çalışmada, akademik araştırma projeleri arasındaki ilişkiler ve değerlendirmede kullanılan kriterlerin önem faktörleri AHP ve TOPSIS yöntemleri ile analiz edilmiştir. Her bir proje, dört ana kriter (Özgün Değer,

Farklı gruplar bazında incelendiğinde, her ne kadar ağırlık oranları değişse de, ağırlıklarına göre kriter sıralamalarının hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Alt kriterleri AHP yönteminden elde edilen ağırlıklara göre büyükten küçüğe hesapladığımızda önem sırasının, Problemin Özgünlüğü, Yöntemin Özgünlüğü, Uygulana-bilirlik ve Ölçülebilirlik, Araştırmacı Yetiştirilmesi, Yeni Proje/Ürün Üretilmesi, Yöntemin Etkinliği, Proje Ekibinin Yetkinliği, Amaçlara Uygunluk, Farklı Alanlar-da Kullanılabilme, Nitelikli Akademik Yayın Üretilmesi, Proje Risk Planı, İş Paketlerinin Dağılımı, Amaçların Belirginliği ve Doğruluğu şeklinde olduğu ortaya çıkmaktadır.

Örnekte yer alan projeler farklı özellikler açısından birbirine üstünlük göstermektedir. Ancak bütünsel bir de-

ğerlendirme yapabilmek için TOPSIS yönteminden yararlanılmıştır. Mevcut sistemde projeler ana kriterlere verilen puanlar üzerinden aritmetik ortalama alınarak değerlendirilmektedir. TOPSIS yöntemiyle ise, mevcut sistemden farklı olarak tüm kriterler değerlendirme içerisinde ağırlıklarına göre yer almıştır. Buna göre aritmetik ortalamaya göre çok daha gerilerde yer alan bir proje eğer Problemin Özgünlüğü, Yöntemin Özgünlüğü, Uygulanabilirlik ve Ölçülebilirlik gibi en önemli kriterlerden yüksek bir puan almışsa bu ilgili projenin aslında desteklenmeyi hak edebileceğini göstermektedir. Buna göre Çizelge 6 incelendiğinde mevcut sisteme göre daha gerilerde yer alan Proje 21'in aslında ideal çözüme en yakın noktada yer aldığı ve örnek içerisindeki en iyi Akademik Araştırma Projesi olduğu görülmektedir. Buna karşın en yüksek aritmetik ortalamaya sahip Proje 123'ün ise TOPSIS yönteminden elde edilen sonuçlara göre 74. sırada yer aldığı görülmektedir.

Çalışmaya genel olarak bakacak olursak, seçilen kriterler ve kriter sayılarının ilgili araştırma projelerinin kapsamına göre değişiklik gösterebilmesi mümkündür. Bu nedenle ileriki çalışmalarda Akademik Araştırma Projeleri gruplandırılarak değerlendirmeler için farklı kriterler belirlenebilir. Bunun yanında hazırlanan ikili karşılaştırma anketi çok daha geniş bir kitle tarafından (tüm proje sahipleri, akademisyenler, uzmanlar vb.) doldurularak, değerlendirmelerde kullanılan kriterlerin önemliliklerine yönelik genel bir bakış açısı yakalanabilir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Amiri, M.P. Project Selection for Oil-Fields Development by Using the AHP and Fuzzy TOPSIS Methods. *Expert Systems with Applications*, 37(9): 6218-6224, (2010).
2. Dodangeh, J., Mojahed, M., Yusuff, R. Best Project Selection by Using of Group TOPSIS Method. *Paper presented at the Computer Science and Information Technology-Spring Conference*. IACSITSC'09, 50-53, Singapore: IEEE, (2009).
3. Mehrez, A., Sinuany-Stern, Z. An Interactive Approach for Project Selection. *Journal of the Operational Research Society*, 34(7): 621-626, (1983).
4. Ömürbek, N., Demirci, N., Akalin, P. Analitik Ağ Süreci ve TOPSIS Yöntemleri ile Bilimdalı Seçimi. *Kilis Üniversitesi, İİBF, Akademik Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 5(9): 118-140, (2013).
5. Tavana, M., Hatami-Marbini, A. A group AHP-TOPSIS Frame Work for Human Space Flight Mission Planning at NASA. *Expert Systems with Applications*, 38(11): 13588-13603, (2011).
6. Mahmoodzadeh, S., Shahrabi, J., Pariazar, M., Zaeri, M.S. Project Selection by Using Fuzzy AHP and TOPSIS Technique. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 30: 333-338, (2007).
7. Saaty, T.L. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology*, 15(3): 234-281, (1977).
8. Hwang, C.L., Yoon, K. Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications, A State-of-The-Art Survey. *Lecture Notes in Economics and Mathematics Systems*, No. 186, New York: Springer-Verlag, (1981).
9. Ömürbek, V., Kınay, B. Havayolu Taşımacılığı Sektöründe TOPSIS Yöntemiyle Finansal Performans Değerlendirmesi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(3): 343-363, (2013).
10. Golpîra, H., Moradi, V. Application of TOPSIS and Group AHP for Project Management. *Paper presented at the 4th International Conference of Operations Researches Society*, Guilan, Iran, (2011).
11. Nibrad, G.M., Khot, P.G. Evaluation of Faculty Performance in Higher Education Using AHP and TOPSIS Method. *International Journal of Management, IT and Engineering*, 2(12): 382-402, (2012).
12. Yari, M., Monjezi, M., Bagherpour, R. Selecting The Most Suitable Blasting Pattern Using AHP-TOPSIS Method: Sungun Copper Mine. *Journal of Mining Science*, 49(6): 967-975, (2013).
13. Zhang, X.F. Combining AHP and TOPSIS Methods to Evaluate Investment for Wind Farm Construction. *Advanced Materials Research*, 860: 280-286, (2014).
14. Lee, M., Son, B., and Om, K. Evaluation of National R&D Projects in Korea. *Research Policy*, 25(5): 805-818, (1996).
15. Korhonen, P., Tainio, R., Wallenius, J. Value Efficiency Analysis of Academic Research. *European Journal of Operational Research*, 130(1): 121-132, (2001).
16. Geuna, A., Martin, B.R. University Research Evaluation and Funding: An International Comparison. *Minerva*, 41(4): 277-304, (2003).
17. Bölükbaş, U., Özkan, B., Başlıgil, H. Evaluation of Academic Research Project Types: A Multi Criteria Decision Making Methodology. *IISRC – International Journal of Information Technology and Computer Science*, 12(1): 105-114, (2013).
18. Thamhain, H.J. Assessing The Effectiveness of Quantitative and Qualitative Methods for R&D Project Proposal Evaluations. *Engineering Management Journal*, 26(3): 3-12, (2014).
19. Supçiller, A.A., Çapraz, O. AHP-TOPSIS Yöntemine Dayalı Tedarikçi Seçimi Uygulaması. *Ekonometri ve İstatistik e-Dergisi*, 13: 1-22, (2011).
20. Melon, M.G., Beltran, P.A., Cruz, M.C.G. An AHP-based Evaluation Procedure for Innovative Educational Projects: A Face-to-Face vs. Computer-Mediated Case Study. *Omega*, 36(5): 754-765, (2008).

Ek 1. Proje değerlendirme kriterlerinin ikili karşılaştırmaları anketi (Pairwise comparisons survey of project evaluation criteria)

BİRİNCİ BÖLÜM

Lütfen aşağıda yer alan soruları parantezde içerilerinde yer alan seçeneklere göre cevaplayınız.

Görev ünvanınız (TÜBİTAK uzman/Akademisyen/İşveren)	
Akademik ünvanınız (Dr./Yard. Doç./Doç./Prof.)	
Hiç Akademik Araştırma Projesi hazırladınız ve destek/hibe başvurusu yaptınız mı? (E/H)	
Hiç Akademik Araştırma Projesi değerlendirmesinde yer aldınız mı? (E/H)	

İKİNCİ BÖLÜM

Lütfen her bir ikili karşılaştırma için, karşılaştırmada yer alan kriterlerden hangisinin size göre ne derecede önemli olduğunu, uygun kutucuğa "x" koyarak gösteriniz.

Ana Kriterlerin Karşılaştırılması																		
Sol tarafa konulacak "x" A'nın B'den daha önemli olduğunu gösterir.										Sağ tarafa konulacak "x" B'nin A'dan daha önemli olduğunu gösterir.								
A	Mutlak Önemli		Çok Önemli		Önemli		Kısmen Önemli		Eşit	Kısmen Önemli		Önemli		Çok Önemli		Mutlak Önemli		B
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Özgün Değer																		Yöntem
Özgün Değer																		Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.
Özgün Değer																		Yaygın Etki
Yöntem																		Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.
Yöntem																		Yaygın Etki
Proje Yön./Ekip ve Araş. Olan.																		Yaygın Etki

"Özgün Değer" Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması																		
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
Problemin Özgünlüğü																		Yöntemin Özgünlüğü

"Yöntem" Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması																		
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
Amaçlara Uygunluk																		Açıklam. Belirginliği ve Doğruluğu
Amaçlara Uygunluk																		Yöntemin Etkinliği
Açıklam. Belirginliği ve Doğruluğu																		Yöntemin Etkinliği

"Proje Yönetimi/Ekip ve Araştırma Olanakları" Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması																		
A	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	B
Proje Ekibi Yetkinliği																		İş Paketlerinin Dağılımı
Proje Ekibi Yetkinliği																		Uygulanabilirlik ve Ölçülebilirlik
Proje Ekibi Yetkinliği																		Proje Risk Planı
İş Paketlerinin Dağılımı																		Uygulanabilirlik ve Ölçülebilirlik
İş Paketlerinin Dağılımı																		Proje Risk Planı
Uygulanabilirlik ve Ölçülebilirlik																		Proje Risk Planı

Ek 1. (devamı)

"Yaygın Etki" Alt Kriterlerinin Karşılaştırılması																		
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Yeni Ürün/Proje Üretilmesi																		Farklı Alanlarda Kullanılabilme
Yeni Ürün/Proje Üretilmesi																		Nitelikli Akad. Yayın Üretilebilmesi
Yeni Ürün/Proje Üretilmesi																		Araştırmacı Yetiştirilmesi
Farklı Alanlarda Kullanılabilme																		Nitelikli Akad. Yayın Üretilebilmesi
Farklı Alanlarda Kullanılabilme																		Araştırmacı Yetiştirilmesi
Nitelikli Akad. Yayın Üretilebilmesi																		Araştırmacı Yetiştirilmesi

Yapım Maliyeti Tahmininde Birim Fiyat Yöntemi – Yapı Yaklaşık Maliyetleri Kıyaslaması

Savaş BAYRAM¹ *, M. Emin ÖCAL², Emel LAPTALI ORAL³, C. Duran ATIŞ¹

¹ Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 38039, KAYSERİ

² Korkut Ata Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 80000, OSMANIYE

³ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 01330, ADANA

(Geliş / Received : 01.07.2015 ; Kabul / Accepted : 09.09.2015)

ÖZ

İnşaat sektöründe artan rekabet ortamı, projelerde kar paylarının düşmesine yol açmaktadır. Buna bağlı olarak da hem işveren hem de yüklenici yönünden yapım maliyeti tahmini çalışmalarının önemi artmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de yapım maliyeti tahmininde yaygın olarak kullanılan ve en önemli veri tabanları olarak kabul edilen “inşaat birim fiyat yöntemi” (BFY) ve “birim alan maliyeti yöntemi” (BAMY) yaklaşımlarının maliyet tahmini performanslarının belirlenmesi ve kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından 4734 sayılı Kamu İhale Kanunu’na göre ihale edilerek 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan 420 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. Reel yapım maliyetleri ile tahmini yapım maliyetlerini karşılaştırma kriteri olarak; karekök ortalama karesel hata (KOKH), ortalama mutlak göreceli hata (OMGH) ve determinasyon katsayısı (R^2) kullanılmıştır. Sonuç olarak; BFY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerlerinin, BAMY ile hesaplanan değerlere göre sırasıyla %13,57’lik ve %1,73’lük sapma oranları ile daha düşük hesaplandıkları, dolayısıyla BFY’nin BAMY’ye göre daha yüksek performans gösterdiği ancak tatminkâr düzeyde olmadığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yapım Maliyeti Tahmini, Birim Fiyat Yöntemi, Birim Alan Maliyeti Yöntemi

Comparison of Unit Price Method and Unit Area Cost Method for Construction Cost Estimation

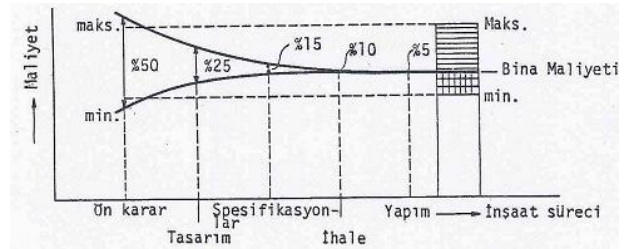
ABSTRACT

In the construction industry, increasing competition environment has led to decrease in the profit share of the projects. Accordingly, importance of construction cost estimation works has been increased for both the employer and the contractor. The purpose of this study has been to determine and compare the construction cost estimations obtained by widely used databases, “unit price method” (UPM) and “unit area cost method” (UACM) in Turkey. For this purpose, construction data from 420 projects, which were procured in accordance with the Public Tender Law no 4734 by the Turkish Ministry of Environment and Urbanism and completed between 2003 and 2011, were reviewed. Root mean square error (RMSE), mean absolute percentage error (MAPE) and coefficient of determination (R^2) were calculated for the comparison of actual and estimated cost values. Consequently, RMSE and MAPE values from UPM were underestimated with the ratio of 13.57% and 1.73% than UACM. Although UPM showed better performance than the UACM, it is not at a satisfactory level.

Keywords: Construction Cost Estimation, Unit Price Method, Unit Area Cost Method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnşaat sektöründe artan rekabet ortamı, projelerde kar paylarının düşmesine yol açmaktadır [1]. Buna bağlı olarak da hem işveren yönünden hem de yüklenici yönünden yapım maliyeti tahmini çalışmalarının önemi artmaktadır [1]. Geçerli bir yapım maliyeti tahmini, proje yöneticisi açısından da kritik bir faktördür [2]. Çünkü yapım maliyeti tahmininin erken aşamalarda doğru olarak yapılabilmesi, proje yöneticisine yeterli alternatifler ve yanlış çözümlerden kaçınma olanağı sağlayacaktır [2]. Yapım evrelerine göre yapım maliyetinde meydana gelen değişimler, Şekil 1’de gösterilmiştir [3].



Şekil 1. Yapım Sürecinde Maliyetin Değişimi

Yapı ekonomisi açısından en kritik maliyet tahmininin ön karar (ön tasarım) evresinde ortaya çıktığı kabul edilmektedir [4]. Şekil 1’de de görüldüğü üzere, yapım maliyeti büyük oranda bu aşamada verilen kararlarla oluşmaktadır [4]. İnşaat sürecine doğru ilerledikçe, maliyetin değişim oranı azalmaktadır.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: sbayram@erciyes.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 175-183

Maliyet tahmini için; inşaat ön keşifleri çoğunlukla genel kabullere dayalı olarak belirlenmekte ve bu nedenle de öngörülen maliyetlerin gerçekleşme düzeyleri oldukça düşük olmaktadır. Bu gibi yetersizlikler, inşaat sektöründe yapılan işlerin maliyetlerine ve sürelerine yönelik tahminlerde ciddi sapmalara neden olmaktadır [5]. Bu da öngörülen bütçenin aşılması başta olmak üzere, önemli kayıplara neden olmaktadır. Literatürde, projelerde meydana gelen maliyet sapması oranlarının %30 - %40 mertebesinde olduğu ve bu durumun normal kabul edildiği ifade edilmiştir [6].

Kamu inşaat sektörü, halkın ve devletin ihtiyaçlarına yanıt vermekle yükümlü kamu yapılarının üretimini esas almaktadır [7]. Bu nedenle, kamu yapıları inşaat sektöründe önemli yer tutmaktadır [7]. Bununla birlikte, merkezi yönetimden yapılan bütçe kısıtlamaları nedeniyle projelerin başlayamaması ya da devam eden projelerin tamamlanamaması gibi olumsuzlukların Türkiye’de sıklıkla görüldüğü de bilinen bir gerçektir [8]. Bu nedenle, bu çalışmada kullanılan toplam 420 yapım işi projesine ait veriler, Türkiye’de kamu inşaat sektörünün işverenleri arasında en önemlisi olan Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’ndan temin edilmiştir. Elde edilen proje verilerine ilişkin detaylı bilgiye bir sonraki bölümde yer verilmiştir.

Yapı üretim sürecinin her aşamasında maliyet tahmini ve denetimi için kullanılan yöntemler, kullanım amaçları doğrultusunda farklılaşabilmektedir [9, 10]. İlk kez 1950’li yıllarda, Avrupa’da kamu yapıları üzerinde basit bir planlama şeklinde ortaya çıkan tahmin kavramı, 1980’li yıllardan sonra yapılan araştırma ve geliştirme çalışmaları neticesinde sınıflandırılmaya başlanmıştır [9, 10]. Yapım maliyeti tahmini yöntemleri, genel olarak; yaklaşık maliyet tahmin yöntemleri ve detaylı maliyet tahmin yöntemleri olmak üzere iki ana gruba ayrılır [8]. Yaklaşık maliyet tahmin yöntemleri; kısa süre içerisinde hazırlanan ve maliyeti kabaca tahmin etmeye yarayan yöntemleri içerir. Detaylı maliyet tahmin yöntemleri ise işin yapılabilmesi için gerekli olan bütün bileşenlerin miktarlarının ve maliyetlerinin tespitine dayanır [8].

Türkiye’de yaklaşık yapım maliyeti tahmininde yaygın olarak kullanılan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na ait veri tabanları;

- İnşaat birim fiyat yöntemi (BFY),
- Yapı yaklaşık maliyetleri (birim alan maliyeti yöntemi, BAMY),

olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır [11, 12].

Bilindiği gibi, birim fiyatı oluşturan girdiler; işgücü, makine-teçhizat ve malzemedir [13]. İnşaat birim fiyat yöntemi (BFY) kapsamında; işgücü (düz işçi, duvar ustası, demir ustası vb.), makine-teçhizat (ekskavatör, buldozer, konkasör vb.) ve malzeme (tuğla, kum, çimento vb.) girdilerinin her biri için bir poz numarası belirlenerek o işin kısa bir tanımı yapılmış, işin birimi ve birim fiyatı tek tek belirlenip liste haline getirilmiştir.

Bu liste, her yıl güncellenmekte olan bir veritabanı olarak düşünülebilir. Bahsedilen BFY sistemi çerçevesinde; yapılacak iş için gerekli olan girdilerin miktarlarının hesaplanmasının (metraj) ardından, veritabanında yer alan birim fiyatlarla, hesaplanan miktarların çarpılması suretiyle girdilerin yaklaşık maliyetleri hesaplanabilmektedir. İhale öncesinde hesaplanan yaklaşık maliyet değeri üzerinden, isteklilerce yapılan tekliflerin uygun olup olmadığı (aşırı düşük teklif vb.) değerlendirilmektedir. Yapım işlerinin uygulama projesi evresine yönelik olarak hazırlanmış olan inşaat birim fiyat yönteminin; teknolojik yeniliklere açık olmaması, birim fiyatların imalatın yapılacağı yer vb. faktörler gözlemlenmeden hazırlanmış olması, bazı yapım işlerinin poz numarasının ilgili veritabanı kapsamında yer almaması ve güncelleme periyodunun ülkenin ekonomik koşullarına uygun olmaması gibi bazı temel problemlere sahip olduğu bilinmektedir [11].

Yine T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından düzenlenen yapı yaklaşık maliyetleri (birim alan maliyeti yöntemi, BAMY), hem kamu kesimine hem de özel kesime ait yapıların tasarım evresinde yapım maliyeti tahmini için yaygın olarak kullanılmaktadır. BAMY yönteminin temel misyonu; gerçekleştirilmesi planlanan yapım işlerinin, işverenlerin yatırım planında yer alması sürecinde hesaplama aracı olarak kullanılmasıdır. Bu yöntemde birim alan maliyeti olarak, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca oluşturulan birim alan ile ilgili istatistikler kullanılmaktadır. Yapımın işlevine göre gruplandırılmış olan bu maliyetler, her yıl enflasyona göre güncellenerek yayımlanmaktadır. İnşa edilecek yapının toplam inşaat alanı ile bakanlığın oluşturduğu birim alan maliyeti çarpılmak suretiyle yapının yaklaşık yapım maliyeti belirlenmektedir. Bu yöntem, pratik olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmakla birlikte, sadece inşaat alanını dikkate alması nedeniyle tasarımları birbirinden tamamen farklı ancak inşaat alanları aynı olan iki yapım işi için aynı maliyet değerini verebilmektedir. Bu nedenle, BAMY ile hesaplanan yaklaşık yapım maliyeti ile reel yapım maliyeti arasında önemli farklılıkların olduğu bilinmektedir.

Yapım maliyetinin gerçeğe olabildiğince yakın olarak tahmin edilebilmesi, hem işveren hem de yüklenici için büyük önem arz ettiğinden dolayı, maliyet tahmininde daha gerçekçi sonuçlara ulaşmaya olanak sağlayacak yöntem geliştirme çabaları hep süregelmiştir. Literatürde konuya yönelik araştırmalardan birkaçını özetlemek gerekirse;

Karshenas (1984); projelerin başlangıç aşamasında maliyet tahmini için genellikle kullanılan birim alan metodunu ele almıştır. Çalışma kapsamında; maliyet, yükseklik ve kat alanı verileri arasında matematiksel ilişki elde edilmek amacıyla, tarihi yapıların proje karakteristikleri kullanılmıştır. Çalışmada, alışılmış metodun dışında, yapı maliyetinin tahmin edilebilmesi için yapı yüksekliği ve kat alanı verileri de birer parametre olarak kullanılmıştır. Çalışma, parametrik bir

maliyet tahmin metodu olarak, genellikle şartnamelerin ve detaylı çizimlerin olmadığı tasarım öncesindeki maliyet tahmininin önemini vurgulamıştır [14].

Turhan (2006); Türkiye’de yer alan Bayındırlık ve İskân Müdürlüklerince 2886 sayılı ve 4734 sayılı kanunlara göre ihale edilmiş ve sonuçlandırılmış olan toplam 1313 adet inşaat projesinin ihale dosyasını incelemiştir. Dosyalardan, söz konusu projelerin öngörülen ve gerçekleşen süre ve maliyet değerleri elde edilmiş ve bu değerler, 4734 sayılı kanunun beklentileri ne düzeyde karşıladığı bağlamında yorumlanmıştır. Sonuç olarak; 2886 sayılı kanuna göre gerçekleştirilen inşaat projelerinin, öngörülenin %218,97 üzerinde maliyetle tamamlandığı saptanmıştır. Buna karşın, 4734 sayılı kanuna göre gerçekleştirilen inşaat projelerinin %0,89’luk bir sapma ile tamamlandığı tespit edilmiştir [15].

Uğur (2007); betonarme taşıyıcı sistemli ve benzer nitelikteki çok katlı toplu konut projelerinin yapım maliyetlerini birim fiyat yöntemi (BFY) ile hesaplamıştır. Ek olarak, yapay sinir ağları (ANN) ve regresyon analizi (RA) ile yapım maliyeti tahmini yapılmış ve üç yöntem karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Ortalama hata değeri, ANN yöntemi için % 4,79 ve regresyon analizi için % 16,58 olarak hesaplanmıştır. Böylece, ANN ile yapılan tahminlerin, RA ile yapılan tahminlere göre daha yüksek performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır [12].

Bari ve ark. (2008); Malezya’da yapım projelerinin teklif öncesi maliyet hesaplama sürecinde benimsenen maliyet hesaplama modelinin çeşitleri üzerinden bilgi sağlamayı amaçlamışlardır. Çalışma sonuçları; maliyet hesaplama modellerinin geleneksel çeşitlerinin birçoğunun, organizasyonel büyüklüğe ve çeşide bakılmaksızın, halen yaygın şekilde kullanılmaya devam ettiğini ortaya çıkarmıştır. Değer mühendisliği ve kaynak temelli modeller ile gelişmekte olan yapay sinir ağları (ANN), bulanık mantık (FL) gibi "yeni dalga" modellerin, belli bir seviyeye ulaşmasının gerekli olduğu ifade edilmiştir [16].

Kuruoğlu ve ark. (2011); inşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemlerini, Türkiye’deki bilinirlikleri ve kullanım oranları açısından değerlendirmişlerdir. Ön maliyet tahmin ve hesaplama yöntemleri, Türkiye koşullarında kullanılmalari açısından değerlendirildiğinde, bu yöntemlerden en pratik olanının "ortalama birim maliyetlere dayalı maliyet tahmin yöntemleri" olduğu, en karmaşık olanının ise gelişmekte olan "yapay zekâ tekniklerine dayalı maliyet tahmin yöntemleri" olduğu sonucuna ulaşılmıştır [17].

Bayram ve ark. (2012); 2004-2010 yılları arasında İzmir’de tamamlanmış olan 198 kamu yapısının ihale dokümanlarını inceleyerek, yapım işlerine ait reel yapım maliyetlerinin, birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) ile elde edilen yaklaşık maliyetlerle karşılaştırılmasını ve BAMY yaklaşımının gerçekçiliğinin belirlenmesini amaçlamışlardır. BAMY yaklaşımından elde edilen

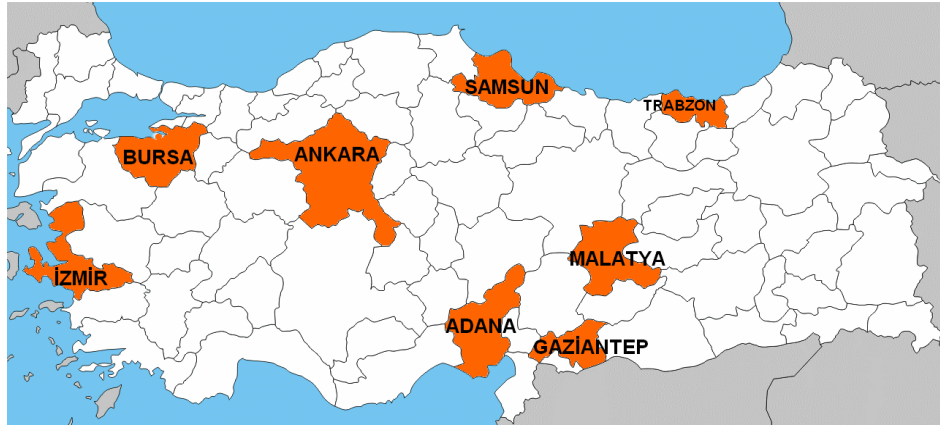
yaklaşık maliyetler toplamı, ihale dosyalarından elde edilen reel yapım maliyetleri toplamına göre %30,38’lik sapma oranı ile daha düşük hesaplanmış ve BAMY yaklaşımının gerçeği yansıtmadığı ifade edilmiştir [18].

Bayram (2013); kamu yapım projelerinin maliyetlerini tahmin edebilmek amacıyla, Türkiye’nin farklı coğrafi bölgelerinde tamamlanmış olan yapım işlerinin ihale dokümanlarını incelemiştir. Yapay sinir ağları (ANN), hibrit yapay zeka modelleri ve regresyon analizi (RA) kullanılarak maliyet tahmin modelleri oluşturulmuştur. Daha sonra, üç yöntem karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Beş kombinezondan oluşan bir çok katmanlı algılayıcı ağının "karekök ortalama karesel hata" (KOKH) değeri 206.460,00 TL olarak hesaplanmıştır. Aynı hata değeri, hibrit yapay zeka yöntemi olarak kullanılan ağ bölüştürme algoritması ile 311.170,00 TL, regresyon analizi ile 300.654,56 TL olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, ANN ile yapılan tahminlerin, diğer yöntemlere göre daha yüksek performans gösterdiği ifade edilmiştir [19].

Söz konusu araştırmalar, yapım maliyeti tahmini için; geleneksel yöntemlerin yanısıra yeni dalga modellerin de kullanım alanı bulduğunu göstermektedir. Ancak birim maliyetlere dayalı geleneksel maliyet tahmin modellerinin, eksiklikleri bilinmesinde rağmen hala kullanıldığı ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmanın farklılığı; Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesinde tamamlanmış olan toplam 420 kamu yapım işi için en önemli veritabanları olan BFY ve BAMY yaklaşımlarının birlikte kullanılması ve elde edilen yaklaşık yapım maliyetlerinin, reel yapım maliyetleri ile kıyaslanarak, elde edilen sonuçlara göre BFY ve BAMY yaklaşımlarının gerçekçilik düzeyinin kıyaslamalı olarak belirlenmiş olmasıdır.

2. VERİ TEMİNİ (DATA COLLECTION)

Çalışmada kullanılan yapım işi projelerine ait veriler, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’na bağlı Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri’nden temin edilmiştir. Bu kapsamda, Türkiye’nin yedi coğrafi bölgesinde yer alan; İzmir (Ege Bölgesi), Bursa (Marmara Bölgesi), Ankara (İç Anadolu Bölgesi), Gaziantep (Güneydoğu Anadolu Bölgesi), Malatya (Doğu Anadolu Bölgesi), Adana (Akdeniz Bölgesi), Trabzon ve Samsun (Karadeniz Bölgesi) şehirlerinde bulunan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde, gerçekleştirilmiş olan yapım işlerine ait ihale dosyalarına yönelik arşiv çalışması yapılmıştır. Yapılan bütün arşiv çalışmalarında sadece yapım işlerinin ihale dosyaları incelenmiş olup, onarım-tadilat işlerinin ihaleleri çalışmanın kapsamı dışında bırakılmıştır. Bu kapsamda, 4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa göre ihale edilmiş ve 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 420 yapım işinin ihale dosyası incelenmiştir. Çalışmaya konu olan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri’nin yer aldığı şehirler, Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde Arşiv Çalışması Yapılan Şehirler

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) "Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi 2011 Nüfus Sayımı Sonuçları"na göre Türkiye'nin toplam nüfusu 74.724.269'dur [20]. Çalışmaya konu olan sekiz şehrin nüfusları toplamı 18.137.664'tür. Bu toplamın Türkiye'nin nüfusuna oranı; $(18.137.664 / 74.724.269) \times 100 = \%24,27$ seviyesindedir. TÜİK verilerine göre, Türkiye'nin toplam yüzölçümü 785.347 km²'dir [21]. Bahsi geçen şehirlerin yüzölçümleri toplamı 95.498 km²'dir. Bu toplamın Türkiye'nin yüzölçümüne oranı; $(95.498 / 785.347) \times 100 = \%12,16$ seviyesindedir. Çalışma kapsamında temin edilen veri grubunun; nüfus bakımından Türkiye genelinin %24,27'sini, yüzölçümü bakımından da Türkiye genelinin %12,16'sını oluşturduğu ifade edilebilir.

Çalışma kapsamında incelenen toplam 420 yapım işi projesinin şehirlere göre dağılımı Tablo 1'de, yıllara göre dağılımı ise Tablo 2'de verilmiştir.

Çizelge 1- Proje Sayılarının Şehirlere Göre Dağılımı

Sıra No	Projenin Yer Aldığı Coğrafi Bölge ve Şehir	Proje Sayısı	Proje Oranı (%)
1	Ege- İzmir	64	15,24
2	Marmara- Bursa	24	5,71
3	İç Anadolu- Ankara	61	14,52
4	Güneydoğu Anadolu- Gaziantep	141	33,57
5	Doğu Anadolu- Malatya	21	5,00
6	Akdeniz- Adana	45	10,71
7	Karadeniz- Trabzon ve Samsun	64	15,24
8	TÜRKİYE GENELİ	420	100,00

Tablo 1'e göre, incelenen proje sayısı en fazla olan şehir 141 (%33,57) ile Gaziantep iken, en az olan şehir 21 (%5,00) ile Malatya olarak belirlenmiştir.

Çizelge 2- Proje Sayılarının Yıllara Göre Dağılımı

Yıl	Proje Sayısı	Proje Oranı (%)
2003	20	4,76
2004	46	10,95
2005	68	16,19
2006	104	24,76
2007	104	24,76
2008	57	13,57
2009	12	2,86
2010	06	1,43
2011	03	0,71
TOPLAM	420	100,00

Tablo 2'ye göre, incelenen proje sayısı en fazla olan yıllar 104 (%24,76) ile 2006 ve 2007 iken, en az olan yıl 03 (%0,71) ile 2011 olarak belirlenmiştir. Yıllara göre proje sayılarının, Gauss tipi dağılıma sahip olduğu söylenebilir. Bunun yanısıra, incelenen 420 yapım işi projesinin ortalama inşaat alanı 2603 m² olarak hesaplanmıştır.

3. YÖNTEM (METHOD)

Bir yapım işi kapsamında yapılması planlanan imalatların maliyetlerinin ileriye dönük olarak hesaplanmasıyla, yapım maliyetinin ileriye dönük olarak hesaplanması mümkün olabilir [10]. Ancak inşaat sektöründe yer alan projelerin; kullanım amaçlarının (eğitim, sağlık vb.) ve tasarımlarının birbirinden farklı olması, yapım sürelerinin uzun olması, proje girdilerinin (işveren, yüklenici, kullanılan malzeme-ekipman vb.) farklı olması ve başlangıçta belirlenen isteklerin yapım süresince değiştirilebilmesi gibi sebeplerden dolayı, yapım maliyetlerinin önceden belirlenmesi zordur [4, 22]. Türkiye'de istatistiksel

verilerin kapsamının darlığı, dalgalanmalı enflasyon oranlarından kaynaklı fiyat değişiklikleri vb. nedenler de eklenince, yapım maliyeti tahminleri gerçekleşme maliyetini yakalayamamaktadır [4].

Bu çalışmada; öncelikle her bir yapım işinin ihale dosyasından, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca her yıl güncellenerek yayımlanan inşaat birim fiyat yöntemi (BFY) kapsamında hesaplanmış olan ihale öncesi yaklaşık maliyet tutarları temin edilmiştir. Daha sonra, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" adı altında her yıl güncellenerek yayımlanan ve birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) olarak bilinen yöntem kullanılarak yaklaşık yapım maliyeti tutarları hesaplanmıştır. İncelenen projelerin büyük çoğunluğunun tamamlanması bir takvim yılını aştığından, bir başka ifadeyle bu projeler yıllara sari olduğundan dolayı, bu projeler için sadece başlangıç yılına ya da bitiş yılına ait tebliğin kullanılmasının gerçekçi bir yaklaşım olmayacağı göz önüne alınmıştır. Bu nedenle birim alan maliyetleri belirlenirken, projelerin başlangıç ve bitiş yıllarına ait tebliğlerdeki birim alan maliyetlerinin ortalaması alınmıştır. Son olarak da; kıyaslamada esas alınmak üzere, her bir yapım işinin ihale dosyasından reel yapım maliyetleri (kesin hesap tutarları) temin edilmiştir.

Çalışma kapsamında kullanılan yaklaşık maliyet ve reel yapım maliyeti verileri, bir önceki bölümde de belirtildiği üzere 4734 sayılı mevcut kamu ihale kanununa göre ihale edilmiş ve 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 420 kamu yapım işine ait ihale dosyasından elde edilmiştir [23]. BFY ve BAMY için; reel yapım maliyeti değerleri ile tahmini yapım maliyeti değerlerini karşılaştırma kriteri olarak; "karekök ortalama karesel hata" (KOKH), "ortalama mutlak göreceli hata" (OMGH) ve "determinasyon katsayısı" (R^2) göz önüne alınmıştır. KOKH; reel değerler ile model tahminleri arasındaki hata oranını belirlemek amacıyla kullanılmaktadır ve KOKH değerinin sıfıra yaklaşması, modelin tahmin kabiliyetinin artması anlamına gelmektedir [24]. KOKH, formül (1) ile hesaplanmaktadır [25];

$$KOKH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{model,i} - y_{real,i})^2}{n}} \quad (1)$$

Burada $y_{model,i}$ ve $y_{real,i}$ sırasıyla model tahminlerini ve reel değerleri, n ise veri sayısını göstermektedir.

OMGH, reel değerler ile model tahminleri arasındaki mutlak hatayı oransal olarak belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. OMGH değeri sıfıra ne kadar yakın olursa modelinin tahmin yeteneği de o kadar iyi demektir. OMGH, formül (2) ile hesaplanmaktadır [26];

$$OMGH (\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\left| \frac{y_{real,i} - y_{model,i}}{y_{real,i}} \right| \times 100 \right) \quad (2)$$

R^2 , reel değerler ile model tahminleri arasındaki nümerik ilişkinin belirlenmesinde kullanılan istatistiksel bir ifade olup, x_1 ve x_2 değişkenleri arasındaki R^2 ifadesi, formül (3) ile hesaplanmaktadır;

$$R^2 = \frac{\sum (x_1 \cdot x_2)^2}{\sum (x_1)^2 \cdot \sum (x_2)^2}, \quad 0 \leq R^2 \leq 1 \quad (3)$$

R^2 ; korelasyon katsayısının karesi olarak ifade edilir ve 0 ile 1 aralığında bir değer alır. Örneğin; $R^2=1$ ifadesi, reel değerler ile model tahminleri arasındaki nümerik ilişkinin çok kuvvetli olduğu anlamına gelmektedir.

4. UYGULAMA (APPLICATION)

T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca her yıl güncellenerek yayımlanan inşaat birim fiyat yöntemi (BFY) kapsamında hesaplanmış olan ihale öncesi yaklaşık maliyet tutarları ve reel yapım maliyetleri, her bir yapım işinin ihale dosyasından temin edilmiştir. Yaklaşık maliyet ve reel yapım maliyeti tutarlarına inşaat genel giderleri ve yüklenici kârı dâhildir. Birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) uygulamasında ise öncelikle T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığınca her yıl güncellenerek yayımlanan "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ"de yer alan sınıflandırmalara göre, her bir yapının mimarlık hizmetlerine esas olan sınıfı belirlenmiştir. 2003-2011 yılları arasında yayımlanmış olan tebliğler incelenmiş ve yapı sınıfları temel alınarak her bir yapının birim alan maliyeti tespit edilmiştir [27]. Daha sonra da Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüklerinde gerçekleştirilen arşiv çalışmalarından elde edilen toplam inşaat alanları ile birim alan maliyetleri çarpılarak her bir yapının yaklaşık yapım maliyeti hesaplanmıştır. Elde edilen yaklaşık yapım maliyeti tutarlarına, inşaat genel giderleri ve yüklenici kârı dâhildir.

Yapım işlerinin reel yapım maliyetleri ile BFY ve BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetleri arasındaki ilişkiler, yıllara göre Tablo 3'de, coğrafi bölge/şehir bazında Tablo 4'de verilmiştir.

İncelenen 420 yapım işi için; BFY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı, reel yapım maliyetleri toplamına göre %32,32'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetler toplamı ise reel yapım maliyetleri toplamına göre %8,08'lik sapma oranı ile daha yüksek hesaplanmıştır. Bu durumda, dokuz yıllık süreçte bütün projelerin maliyet değerleri toplamı için BAMY yaklaşımının BFY yaklaşımına göre daha gerçekçi olduğu söylenebilir. Ancak burada, bütün projelerin bir toplam olarak bir arada değerlendirildiği unutulmamalıdır. Yıl bazında, reel yapım maliyetleri toplamına göre sapma oranının ise 2004 yılında BFY için %91,13'e ve BAMY için %88,25'e ulaştığı gözde çarpmaktadır. BFY için 2006, 2007 ve 2010 yıllarında gerçekleştirilen projelerin sapma oranı genel oranın (%32,32) altında iken BAMY için 2006 ve 2007

Çizelge 3- Yıllık Bazda Reel Yapım Maliyetlerinin BFY ve BAMY ile İlişkisi

Yıl	Proje Sayısı	BFY (TL) (a)	BAMY (TL) (b)	Reel Yapım Maliyeti (TL) (c)	(a-c)/c (%)	(b-c)/c (%)
2003	20	20.334.993,80	25.262.812,00	13.677.462,77	48,68	84,70
2004	46	26.507.625,00	26.108.128,00	13.868.913,00	91,13	88,25
2005	68	72.938.529,61	63.837.427,60	47.224.046,16	54,45	35,18
2006	104	125.155.297,00	100.966.115,00	99.523.763,00	25,75	1,45
2007	104	219.956.244,00	174.661.317,00	182.038.593,00	20,83	-4,05
2008	57	75.953.186,01	47.481.648,00	53.319.573,00	42,45	-10,95
2009	12	23.316.466,00	18.869.012,00	15.663.312,00	48,86	20,47
2010	06	31.941.514,00	30.253.049,00	25.213.184,00	26,69	19,99
2011	03	1.752.112,00	902.929,00	1.304.869,00	34,27	-30,80
TOPLAM	420	597.855.967,42	488.342.437,60	451.833.715,93	32,32	8,08

yıllarında gerçekleştirilen projelerin sapma oranı genel oranın (%8,08) altında seyretmektedir.

İncelenen 420 yapım işinin maliyet verilerine ait istatistiksel özellikler, Tablo 5’de verilmiştir.

Çizelge 4- Şehir Bazında Reel Yapım Maliyetlerinin BFY ve BAMY ile İlişkisi

Coğrafi Bölge ve Şehir	Proje Sayısı	BFY (TL) (a)	BAMY (TL) (b)	Reel Yapım Maliyeti (TL) (c)	(a-c)/c (%)	(b-c)/c (%)
Ege- İzmir	64	84.436.361,01	65.917.907,00	89.479.398,00	-5,64	-26,33
Marmara- Bursa	24	26.906.151,00	22.244.896,60	18.938.566,00	42,07	17,46
İç Anadolu- Ankara	61	94.305.859,00	79.501.252,00	61.354.897,00	53,71	29,58
Güneydoğu Anadolu- Gaziantep	141	125.395.146,00	107.585.163,00	82.659.298,00	51,70	30,15
Doğu Anadolu- Malatya	21	39.753.700,00	23.661.010,00	24.158.773,00	64,55	-2,06
Akdeniz- Adana	45	68.567.660,41	45.054.427,00	47.022.665,93	45,82	-4,19
Karadeniz- Trabzon ve Samsun	64	158.491.090,00	144.377.782,00	128.220.118,00	23,61	12,60
TÜRKİYE GENELİ	420	597.855.967,42	488.342.437,60	451.833.715,93	32,32	8,08

Şehir bazında, Malatya şehrindeki projelerde reel yapım maliyetleri toplamına göre sapma oranının BFY için %64,55’e ulaştığı ancak BAMY için %-2,06 ile en gerçekçi değere sahip olduğu göze çarpmaktadır. Gaziantep şehrindeki projelerde ise sapma oranının BAMY için %30,15’e ulaştığı, BFY için de %51,70 mertebesinde olduğu görülmektedir. BFY için İzmir ile Samsun ve Trabzon şehirlerinde gerçekleştirilen projelerin sapma oranı, genel oranın (%32,32) altında iken BAMY için Malatya ve Adana şehirlerinde gerçekleştirilen projelerin sapma oranı, genel oranın (%8,08) altında seyretmektedir.

Tablo 5’e göre; BFY ile hesaplanan yaklaşık maliyet 42.163,00 ile 43.055.298,00 TL aralığında, BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyet 13.785,60 ile 30.761.600,00 TL aralığında ve reel yapım maliyeti 31.000,00 ile 37.887.859,00 TL aralığında değişmektedir. Reel yapım maliyetinin değişim katsayısının, BFY ile ve BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Buradan da reel yapım maliyetlerinin BFY ve BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyetlere göre daha az homojenliğe sahip olduğu söylenebilir. Dağılımın

Çizelge 5- Maliyet Verilerinin İstatistiksel Özellikleri

İstatistiksel Tanım	BFY ile Hesaplanan Yaklaşık Maliyet (TL)	BAMY ile Hesaplanan Yaklaşık Maliyet (TL)	Reel Yapım Maliyeti (TL)
Minimum Değer	42.163,00	13.785,60	31.000,00
Maksimum Değer	43.055.298,00	30.761.600,00	37.887.859,00
Aritmetik Ortalama	1.423.466,59	1.162.720,09	1.075.794,56
Standart Sapma	2.844.906,95	2.323.254,97	2.513.874,39
Değişim Katsayısı (%)	199,86	199,81	233,68

aritmetik ortalama etrafında en yoğun olduğu veriler ise BAMY ile hesaplanan yaklaşık maliyet verileridir.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde incelenen 420 ihale dosyasından elde edilen reel yapım maliyetlerinin; BFY ile hesaplanan yaklaşık yapım maliyetleri ve BAMY ile hesaplanan yaklaşık yapım maliyetleri ile karşılaştırılması sonucunda elde edilen KOKH, OMGH ve R^2 değerleri, Tablo 6'da sıralanmıştır.

Çizelge 6- BFY ve BAMY Sonuçlarının Kıyaslanması

YÖNTEM	VERİ SAYISI	KIYASLAMA PARAMETRELERİ		
		KOKH (TL)	OMGH (%)	R^2
BFY	420	737.781,66	52,32	0,9565
BAMY	420	853.671,65	53,24	0,8859

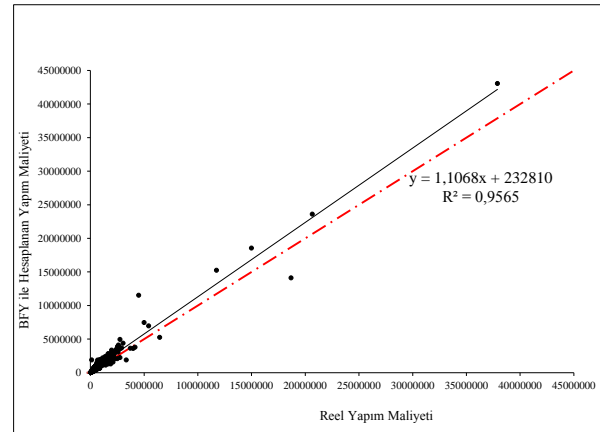
Tablo 6'da, BFY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerlerinin, BAMY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerlerine göre daha küçük oldukları görülmektedir. Oransal olarak ifade etmek gerekirse, BFY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerleri, BAMY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerlerine göre sırasıyla;

$$FARK_{KOKH}(\%) = \frac{853.671,65 - 737.781,66}{853.671,65} \times 100 = \%13,57 \quad (4)$$

$$FARK_{OMGH}(\%) = \frac{53,24 - 52,32}{53,24} \times 100 = \%1,73 \quad (5)$$

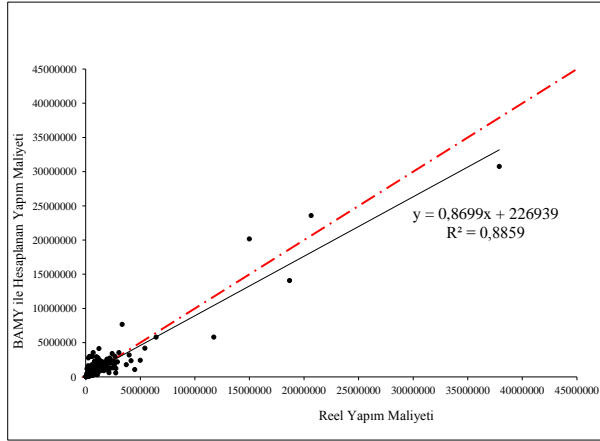
sapma oranları ile daha küçük hesaplanmışlardır. Bu durumda gerek hata parametrelerinin daha küçük değerlere sahip olması, gerekse $R^2 = 0,9565$ değerinin daha büyük olması, yapım maliyeti tahmininde BFY yaklaşımının BAMY yaklaşımına göre daha gerçekçi olduğunu ortaya koymaktadır. Tablo 3'e göre, her ne kadar incelenen 420 projenin maliyet değerleri toplamı dikkate alındığında BAMY yaklaşımının BFY yaklaşımına göre daha gerçekçi olduğu kanısına varılmış olsa da, Tablo 6'da maliyet değerlerinin toplamı gibi tek bir parametrenin oransallığından ziyade üç

farklı karşılaştırma parametresi kullanıldığından dolayı, buradan elde edilen sonuçların da daha güvenilir olduğu açıktır. Elde edilen sonuçların görsel olarak da değerlendirilebilmesi adına; yapım işlerinin ihale dosyalarından elde edilen reel yapım maliyetleri ile aynı işlerin BFY ile hesaplanan yaklaşık yapım maliyetlerine ait saçılma diyagramı Şekil 3'de, BAMY ile hesaplanan tahmini yapım maliyetlerine ait saçılma diyagramı Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Reel Yapım Maliyeti-BFY İlişkisi

Şekil 3'de görülen eğilim çizgisi, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden kesikli $y=x$ doğrusunun sol tarafında seyretmekte olup, eğilim çizgisinin y eksenine doğru kaydığı ifade edilebilir. Saçılma diyagramından; yapım maliyeti 500.000 TL'ye kadar olan verilerin çoğunlukla $y=x$ doğrusu üzerinde seyrettikleri ancak özellikle yapım maliyeti 500.000 TL'den büyük olan verilerin, eğilim çizgisinin etrafında dağınık görünüme sahip oldukları söylenebilir. Buna rağmen, $R^2 > 0,80$ durumunda reel ve tahmini değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,9565 > 0,80$ ifadesi çok güçlü korelasyona işaret etmektedir [28].



Şekil 4. Reel Yapım Maliyeti-BAMY İlişkisi

Şekil 4'de görülen eğilim çizgisi, reel değerler ile tahmini değerlerin eşit olduğunu ifade eden kesikli $y=x$ doğrusunun sağ tarafında seyretmekte olup, eğilim çizgisinin x eksenine doğru kaydığı ifade edilebilir. Şekil 3'de yer alan saçılma diyagramı göz önüne alındığında, Şekil 4'de yer alan saçılma diyagramında, verilerin eğilim çizgisinin etrafında daha dağınık bir görünüme sahip oldukları söylenebilir. $R^2 > 0,80$ durumunda reel ve tahmini değerler arasında güçlü bir korelasyon olduğu düşünüldüğünde, $R^2 = 0,8859 > 0,80$ ifadesi geçerli bir korelasyon değerine işaret etse de BFY ile hesaplanan tahmini yapım maliyetlerinin reel yapım maliyetlerine BAMY yöntemine göre daha yakın oldukları ve BFY ile yapılan maliyet tahmininin daha başarılı olduğu ifade edilebilir. Formül (4) ve Formül (5)'den, BFY ile hesaplanan KOKH değerinin BAMY ile hesaplanana göre %13,57 ve OMGH değerinin de %1,73 oranında daha küçük hesaplanmış olması, bu bulguyu doğrulamaktadır. Ancak elde edilen KOKH (737.781,66 TL) ve OMGH (%52,32) değerlerinin büyüklükleri göz önüne alındığında, yapım maliyeti tahmini için BFY yaklaşımının da tatminkâr düzeyde olmadığı ifade edilebilir.

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, Türkiye'nin büyükşehirlerinden olan ve farklı coğrafi bölgelerde bulunan; İzmir, Bursa, Ankara, Gaziantep, Malatya, Adana, Trabzon ve Samsun şehirlerinde yer alan Çevre ve Şehircilik İl Müdürlükleri tarafından 4734 sayılı kamu ihale kanununa göre 2003-2011 yılları arasında tamamlanmış olan toplam 420 kamu yapım işine ait ihale dosyası incelenmiştir. Uygulamada, Türkiye'de yaklaşık yapım maliyeti tahmininde yaygın olarak kullanılan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait veri tabanlarından; inşaat birim fiyat yöntemi (BFY) ve birim alan maliyeti yöntemi (BAMY) yaklaşımlarının yapım maliyeti tahmin performansları ele alınmıştır. Öncelikle, her bir yapım işinin ihale dosyasından, BFY kapsamında hesaplanmış olan ihale öncesi yaklaşık maliyet tutarları temin edilmiştir. Daha sonra, "Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ" adı

altında her yıl güncellenerek yayımlanan ve BAMY olarak bilinen yöntem kullanılarak yaklaşık yapım maliyeti tutarları hesaplanmıştır. Son olarak da; kıyaslamada esas alınmak üzere, her bir yapım işinin ihale dosyasından reel yapım maliyetleri temin edilmiştir. Reel yapım maliyetleri ile tahmini yapım maliyetlerini karşılaştırma kriteri olarak; karekök ortalama karesel hata (KOKH), ortalama mutlak göreceli hata (OMGH) ve determinasyon katsayısı (R^2) göz önüne alınmıştır.

Sonuç olarak, BFY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerlerinin, BAMY ile hesaplanan KOKH ve OMGH değerlerine göre sırasıyla %13,57'lik ve %1,73'lük sapma oranları ile daha düşük hesaplandıkları tespit edilmiştir. Dolayısıyla BFY yaklaşımının BAMY yaklaşımına göre daha yüksek performans gösterdiği, hesaplanan R^2 değerlerinin ($0,9565 > 0,8859$) de bu bulguyu desteklediği ifade edilmiştir. Her ne kadar BFY'nin tasarım sonrası evrede kullanılması ve tasarım öncesi evrede kullanılabilen BAMY'ye göre daha gerçekçi olması normal karşılanırsa da, BFY'den elde edilen KOKH=737.781,66 TL ve OMGH=%52,32 değerlerinin büyüklükleri göz önüne alındığında BFY yaklaşımının da tatminkâr düzeyde olmadığı ifade edilmiştir. Bu nedenle, Türkiye'de yaklaşık yapım maliyeti tahmininde yaygın olarak kullanılan T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na ait veri tabanlarından BFY ve BAMY yaklaşımlarının geçerliliklerinin tekrar gözden geçirilerek, gerçekçi yapım maliyeti hesabı adına alternatif yaklaşımlar üzerinde çalışılmasının zorunlu hale geldiği düşünülmektedir.

SİMGELER ve KISALTMALAR (SYMBOLS and ABBREVIATIONS)

ANN	: Yapay sinir ağları
BAMY	: Birim alan maliyeti yöntemi (Yapı yaklaşık maliyetleri)
BFY	: İnşaat birim fiyat yöntemi
FL	: Bulanık mantık
KOKH	: Karekök ortalama karesel hata
OMGH	: Ortalama mutlak göreceli hata
R^2	: Determinasyon katsayısı
RA	: Regresyon analizi
TUIK	: Türkiye istatistik kurumu

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje No: FBD-11-3566).

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bisen, Ö., ve Dikmen, S.Ü., "Üst yapı inşaat projelerinde öngörülemeyen maliyetlerin belirlenmesine yönelik bir karar destek modeli", 5. Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi, Eskişehir, (2009)

- [2] Arafa, M., and Alqedra, M., "Early stage cost estimation of buildings construction projects using artificial neural networks", *Journal of Artificial Intelligence*, 4(1): 63-75, (2011)
- [3] Seyyar, B., "Bina tasarım sürecinde bilgisayar destekli maliyet tahmin modelleri", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2000)
- [4] Göktürk, İ., "İnşaat sektöründe fizibilite aşamasında maliyet tahmini yapmakta karşılaşılan zorluklar ve çözüm önerileri üzerine bir değerlendirme", *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, (2007)
- [5] Öcal, M.E., ve Kadirhan, F., "İnşaat sektöründe genel gider kavramı ve yapı maliyetine yansıtılma düzeyi", *5. Yapı İşletmesi/Yapım Yönetimi Kongresi*, Eskişehir, (2009)
- [6] Finnie, G.R., Wittig, G.E., and Desharnais, J.M., "A comparison of software effort estimation techniques: Using function points with neural networks, case-based reasoning and regression models", *Journal of Systems Software*, 39(3): 281-289, (1997)
- [7] Tokalakoğlu, D., ve Taş, E., "Kamu inşaat sektöründe yaklaşık maliyet hesabı şartnamesi oluşturulmasına yönelik bir çalışma", *1. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, Ankara, (2010)
- [8] Akbıyıklı, R., "İnşaat yönetimi, metraj ve maliyet hesapları", *Birsen Yayınevi*, İkinci Baskı, İstanbul, (2012)
- [9] Akınbingöl, M., ve Gültekin, A.T., "Bina üretimi yapım evresinde maliyet planlama ve denetimine yönelik bir maliyet yönetim modeli önerisi", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(4): 499-505, (2005)
- [10] Uğur, L.O., "Yapı maliyeti çalışmaları", *Alter Yayıncılık*, 1. Baskı, Ankara, (2009)
- [11] Polat, D.A., ve Çıracı, M., "Türkiye'de tasarım öncesinde maliyet tahmini için veri tabanı modeli", *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 4(2): 59-69, (2005)
- [12] Uğur, L.O., "Yapı maliyetinin yapay sinir ağı ile analizi", *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, (2007)
- [13] Uğur, L.O., "İnşaat sektöründe riskler ve risk yönetimi", *Türkiye Mühendisler Birliği*, Seminer notları, Ankara, (2006)
- [14] Karshenas, S., "Predesign cost estimating method for multistory buildings", *Journal of Construction Engineering and Management*, 110(1): 79-86, (1984)
- [15] Turhan, N., "Kamu ihale sistemindeki değişikliğin inşaat yatırımlarının süre ve maliyetlerine yansımaları", *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, (2006)
- [16] Ahmad Bari, N.A., Abdul Kadir, M.R., Ismail, N., and Yusuf, R.M., "Exploring the types of construction cost modelling for industrialised building system (IBS) projects in Malaysia", *The 1st International Conference on Industrialised, Integrated, Intelligent Construction (I3CON)*, Loughborough, United Kingdom, (2008)
- [17] Kuruoğlu, M., Çelik, L.Y., Topkaya, E., ve Yönez, E., "İnşaat sektöründe kullanılan ön maliyet tahmin yöntemlerinin karşılaştırılması", *6. İnşaat Yönetimi Kongresi*, Bursa, (2011)
- [18] Bayram S., Ocal M.E., and Laptali Oral, E., "Analysis of cost and schedule variances in construction works with artificial intelligence approaches: The case of Turkey", *International Students' Conference of Civil Engineering (ISCCE 2012)*, Tirana, Albania, (2012)
- [19] Bayram S., "Türkiye kamu inşaat projelerindeki maliyet ve süre sapmalarının yapay zekâ yöntemleri ile kıyaslamalı analizi", *Doktora Tezi*, Erciyes Üniversitesi, (2013)
- [20] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi (ADNKS) Sonuçları, 2012. [Çevrimiçi]. url: <http://tuikapp.tuik.gov.tr/adnksdagitapp/adnks.zul> [08 Mart 2012 tarihinde erişilmiştir].
- [21] Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Türkiye İstatistik Yıllığı, 2009. [Çevrimiçi]. url: http://www.turkstat.gov.tr/yillik/stat_yearbook.pdf [08 Mart 2012 tarihinde erişilmiştir].
- [22] Kolaylıoğlu, Ö., "İnşaat sektöründe proje yönetimi ve proje yöneticisi", *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, (2006)
- [23] T.C. Bakanlar Kurulu, 4734 Sayılı Kamu İhale Kanunu, 2002. [Çevrimiçi]. url: http://www.ihale.gov.tr/mevzuat/kanun/4734_271075_rg_doc [08 Mart 2012 tarihinde erişilmiştir].
- [24] Eren, B., ve Eyüpoğlu, V., "Yapay sinir ağları ile Ni(II) iyonu geri kazanım veriminin modellenmesi", *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, Elazığ, (2011)
- [25] Singh, K.P., Basant, A., Malik, A., and Jain, G., "Artificial neural network modeling of the river water quality - A case study", *Ecological Modelling*, 220(6): 888-895, (2009)
- [26] Seçkin, N., Güven, A., ve Yurtal, R., "Taşkın debilerinin yapay sinir ağları ile modellenmesi: Batı Karadeniz havzası örneği", *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 25(1-2): 45-57, (2010)
- [27] T.C. Resmi Gazete, Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ, 2011. [Çevrimiçi]. url: <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2011/04/20110428-42.htm> [14 Ağustos 2015 tarihinde erişilmiştir].
- [28] Kayadelen, C., Taşkıran, T., Günaydın, O., and Fener, M., "adaptive neuro-fuzzy modeling for the swelling potential of compacted soils", *Environmental Earth Sciences*, 59(1): 109-115, (2009)

Ilık Derin Çekme Prosesinde Yağlayıcı Etkisinin Şekillendirilebilirlik Açısından Deneysel Araştırılması

Nuri Şen^{1,*}, Naci KURGAN², İbrahim KARAAĞAÇ³, Onuralp ULUER³

^{1*} Karabük Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Karabük / TÜRKİYE

² Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği, Samsun / TÜRKİYE

³ Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İmalat Mühendisliği, Ankara / TÜRKİYE

(Geliş / Received : 02.07.2015 ; Kabul / Accepted : 17.08.2015)

ÖZ

Derin çekme prosesinde yağlayıcı kullanılması şekillenme esnasında kalıp elemanları ve sac malzeme temas yüzeylerinde oluşan sürtünme kuvvetlerinin etkisini azaltmaktadır. Malzeme, kalıp ve baskı plakası yüzey kalitesi, sıcaklık, baskı plakası kuvveti ve kullanılan yağlayıcının özellikleri sürtünme kuvvetlerine etki eden faktörlerdir. Bu çalışmada; yüksek mukavemetli HC300LA (Erdemir 7128) ve HC420LA (Erdemir 7140) sac malzemelerinin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesi sırasında kullanılan yağlayıcı türünün çekme oranına (DR) ve şekillendirme kuvvetine etkileri, deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada, grafit sprej ve grafit sprej ile teflon (PTFE) bileşiminin birlikte kullanıldığı iki tür yağlayıcı kullanılmıştır. Yağlayıcı türü olarak grafit sprej ve teflon bileşimi kullanıldığında sürtünme kuvvetinin grafit sprej kullanımına oranla azaldığı ve bunun sonucu olarak da şekillendirme kuvvetinin de azaldığı gözlenmiştir. Yağlayıcı türüne bağlı olarak DR'nin HC300LA sac malzeme için en büyük % 11,26, HC420LA sac malzeme için de en büyük % 11,51 oranlarında arttığı tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ilık derin çekme, yağlayıcı, grafit sprej, teflon

An Experimental Investigation of the Lubrication Effects on Formability In Warm Deep Drawing Process

ABSTRACT

The lubrication reduces to effects of friction forces that it is between die and blank holder in deep drawing process. The affecting factors to friction forces are material, surface quality of die and blank holder, temperature, blank holder force and lubrication properties. In this study, the effects of lubricant type on drawing ratio (DR) and forming force have been investigated experimentally. Graphite spray and composition of graphite spray-Teflon (PTFE) materials were used as lubricant materials. Compared with the use of spray, in case of using graphite and Teflon spray composition as lubrication type, it was observed that friction force was decreased. As a result of this decrease, the forming force decreased. The depending on lubrication type, the DR increased maximum 11.26 % for HC300LA sheet material. Also, The DR increased maximum 11.51 % for HC420LA sheet material.

Keywords: Warm deep drawing, lubrication, graphite spray, Teflon

1- GİRİŞ (INTRODUCTION)

Derin çekme yönteminde sac malzeme üzerindeki sürtünmeden kaynaklı gerilmeler artmaktadır. Proses sırasında sac malzemenin kalıp içerisine akışı, sürtünmenin yoğunlaştığı yönde dururken, çekilen sacın az sürtünen diğer bölgelerde incelmeye meydana gelmekte ve prosesin ilerleyen aşamalarında da sac malzeme incelen bölgelerde yırtılmaktadır. Proses sırasında baskı plakası kuvveti sac malzemenin kırışma veya yırtılma olmaksızın kalıp içerisine akmasına izin verecek büyüklükte olmalıdır. Aksi takdirde yüksek baskı plakası kuvveti; sac malzemenin yırtılmasına sebep olurken az olması halinde de sac malzemede kırışıklık oluşarak yırtılmasına sebep olmaktadır. Proses sırasında en fazla sürtünme sac

malzeme-kalıp-baskı plakası arasında oluşmaktadır. Bu nedenle, kalıp ve baskı plakası arasında sürtünmeyi azaltmak amacıyla yağlayıcı kullanımı ve seçimi önemli bir parametredir. Uygun seçilmeyen yağlayıcı kullanımı sürtünme kaynaklı problemleri azaltmamaktadır. Ilık derin çekme proseslerinde yağlayıcı türünün sürtünme etkisini azaltmasının yanında bir de sıcaklık etkisiyle özelliğini kaybetmemesi de dikkat edilmesi gereken diğer bir parametredir. Şekillendirilen ürün açısından da değerlendirildiğinde, yağlayıcı malzeme ile sac arasındaki film tabaka şekillendirilen sac malzeme üzerinde bulunan çizik vb. şekillendirme kusurlarının oluşup oluşmamasını da etkilemektedir.

Literatür araştırmalarında, ılık derin çekme proseslerinde farklı özellikteki malzemelerin şekillendirilmesinde yağlayıcı olarak çeşitli malzemelerin kullanıldığı gözlemlenmiştir. Zhang vd. yapmış oldukları çalışmada

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: nurisen1981@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 185-193

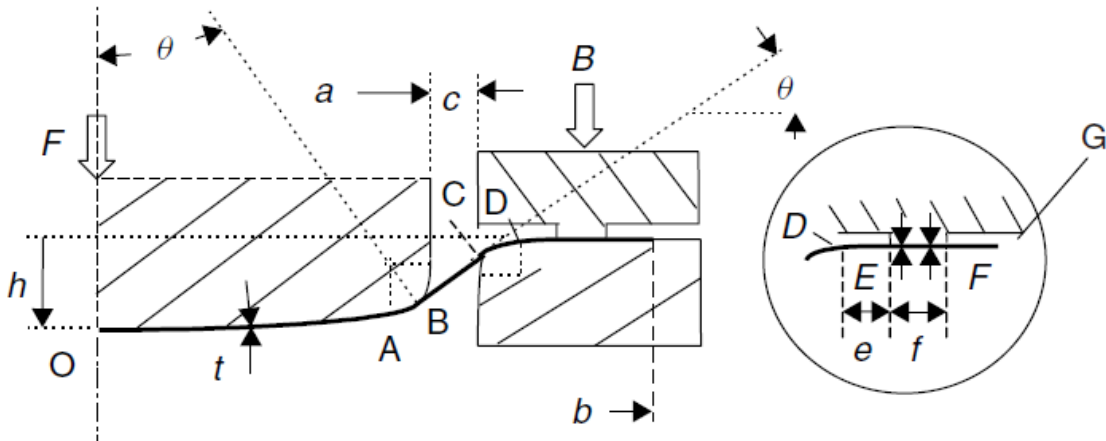
magnezyum alaşımlarının ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirme işlemlerinde sıvı teflon (PTFE) kullanmışlardır. Ancak sıvı teflonun sıcak şekillendirmede kolayca buharlaşmadığını ve kalıp üzerinde kalıntılar bıraktığını bildirmişlerdir [1]. Su bazlı teflon (PTFE) malzemesinin AZ31 magnezyum alaşımlarının da ılık şekillendirme prosesi ile şekillendirilmesinde de yağlayıcı olarak kullanıldığı belirlenmiştir [2]. Sıvı teflon malzemelerin yanı sıra teflon film malzemelerin de ılık derin çekme proseslerinde yağlayıcı olarak kullanıldığı tespit edilmiştir. Bong vd. yaptıkları çalışmada östenitik ve ferritik paslanmaz çeliklerin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesinde teflon film malzemesini yağlayıcı olarak kullanmışlardır [3]. Alüminyum sac malzemelerin ılık şekillendirme prosesinde sıcaklık artışı ile birlikte Alüminyum sac malzemedeki yapışmaya eğilimi ortaya çıkmaktadır. Buna bağlı artan sürtünme ile birlikte şekillendirilebilirlik azalmaktadır [4]. Palumbo ve Tricarico dairesel alüminyum alaşımlarının ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesinde yağlayıcı olarak standart gres yağını kullanmışlardır [5]. Kumar vd. 7000 serisi Alüminyum malzemenin ılık derin çekme yöntemiyle

Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde, ılık derin çekme prosesi ile ilgili çalışmalarda sac malzemelerin şekillendirilebilirliği ve şekillendirilebilirliğe etki eden sıcaklık, baskı plakası kuvveti, malzeme türü ve hız parametreleri üzerine odaklanıldığı tespit edilmiştir. Ancak, yağlayıcı etkisi en az diğer parametreler kadar önemli olan yağlayıcı ve türü üzerinde araştırma bulunmadığı sadece yağlayıcı etkisinin sonraki çalışmalarda araştırılmasının planlandığı belirlenmiştir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışmada ilk kez sadece yağlayıcının şekillendirilebilirliğe etkisi araştırılmıştır. Ayrıca, yağlayıcı malzeme olarak ilk kez bu çalışmada, grafit ve grafit-teflon bileşimi malzemeler kullanılmıştır.

2- YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Derin Çekme İşleminde Sürtünme Kuvveti (Friction Force in Deep Drawing)

Çekme kalıbında çekme kuvvetinin etkisini açıklamak için, bir çekme kalıbının kesit görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. Kesitin simetrik olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 1. Çekme kalıbı kesit görüntüsü [13] (The section view of drawing die)

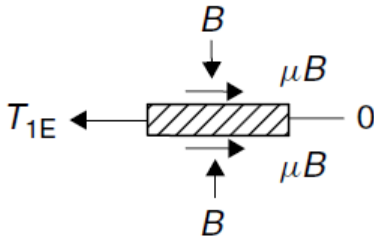
miyle şekillendirilebilirliğini araştırdığı çalışmasında, Multidraw Drylube C1 ticari marka yağlayıcı kullanmıştır [6]. Başka bir çalışmada da yine 7000 serisi Alüminyum sac malzemenin şekillendirilmesi sırasında, Wang vd. yüksek sıcaklığa dayanıklı Fuchs ticari marka AL278 yağlayıcı kullanmışlardır [7]. Ayrıca gres malzemesinin başka çalışmalarda da ılık şekillendirme işlemlerinde yağlayıcı olarak kullanıldığı belirlenmiştir [8]. Laurent vd. magnezyum alaşımlarının ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesi prosesinde yağlayıcı malzeme olarak sıvı yağ kullanmışlardır. Sıvı yağ uygulamasını sac malzemenin her iki yüzüne sürerek yapmışlardır [9]. Kotkunde vd. Ti-6Al-4V alaşım malzemesinin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesinde Molykote ticari marka yağlayıcı kullanmıştır [10]. Literatür araştırmalarında, yağlayıcı malzeme olarak makine yağı ve boron nitride gibi farklı malzemelerin de kullanıldığı tespit edilmiştir [11, 12].

Şekil 1'de; a zımba yarıçapını, b sac yarıçapını, c çekme boşluğunu, e baskı plakası ile kalıp kavisi arasında kalan alanı, f baskı yatığı baskı alanını, h parça derinliğini ve t sac kalınlığını ifade etmektedir.

Şekil 1'de verilen sac malzemenin deformasyonunda, sac malzeme O merkezinden B teğet noktasına gerdirilmekte ve sac malzeme sürtünmeye zıt yönde kaymaktadır. Bu esnada sac malzeme üzerindeki sürtünme kuvveti ise O merkez noktasına zıt yönde hareket etmektedir. Ayrıca sac malzeme, kalıp ile temas noktası olan C noktasından F noktasına da kaymaktadır.

Derin çekme işleminde, zımba ve baskı plakası arasında sac malzeme üzerine gelen kuvvetler Şekil 2'de verilmiştir. Burada, T_{IE} çekme kuvvetini ve B baskı plakası kuvvetini ifade etmektedir. Bir çekme kalıbında, sürtünme kuvveti (μB) sac malzemenin her iki yüzüne etkilemektedir. Çekme kalıbında deformasyon esnasında meydana gelen çekme gerilmesinin hesaplaması Eş.1'de verilmiştir.

$$T_{1E} = 2\mu B$$



Şekil 2. Baskı plakası altında sac malzeme [8] (The sheet under the blank-holder)

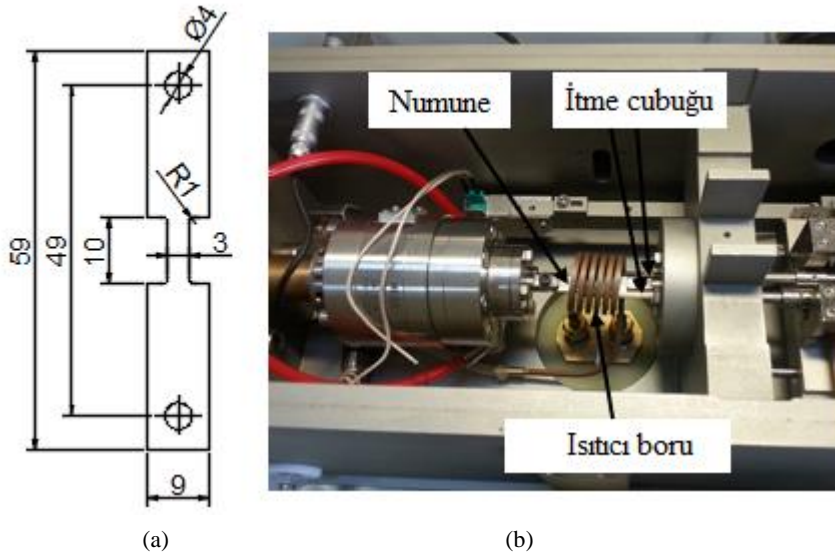
2.2. Malzeme (Materials)

Deneysel çalışmalarda, HC300LA ve HC420LA sac malzemeler kullanılmıştır. Sac malzemelerin mekanik özelliklerinin tespiti için çekme test numuneleri Şekil 3 (a) 'da verildiği gibi tel erozyon tezgahında kesilerek

(1) oda sıcaklığında (RT), 150 °C ve 300 °C sıcaklıklarında çekme testine tabi tutulmuştur. Çekme cihazının görüntüsü Şekil 3(b) 'de, elde edilen veriler de Tablo 1 'de verilmiştir. Deney malzemelerinin kimyasal analiz sonuçları da Tablo 2 'de verilmiştir.

2.3. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

Ilık derin çekme deneyleri, Şekil 4 'de verilen 80 ton kapasiteli mekanik eksantrik pres üzerine kurulan ve yüksek sıcaklıklar için özel olarak tasarlanan deney düzeneginde gerçekleştirilmiştir. Deney düzeneginde kullanılan baskı plakası kuvveti, eksantrik presin her iki tarafında bulunan ve özel olarak imal edilen her biri 50 kN kapasiteli iki adet piston vasıtasıyla sağlanmıştır. Yük hücresi, zımba ve pres koçunun arasına Şekil 4 'de verildiği gibi monte edilmiştir. Yük hücresinden alınan veriler, derin çekme işlemi boyunca pres tarafından uygulanan kuvvetin bilgisayar ekranında gösteriminin



Şekil 3. a) Çekme testi numunesi ölçüleri, b) dilatometre cihazının üstten görünüşü
(a- Tension sample geometry, b- top view of dilatometer assembly)

Çizelge 1. HC300LA sac malzeme çekme testi sonuçları (The tensile test results of HC300LA sheet materials)

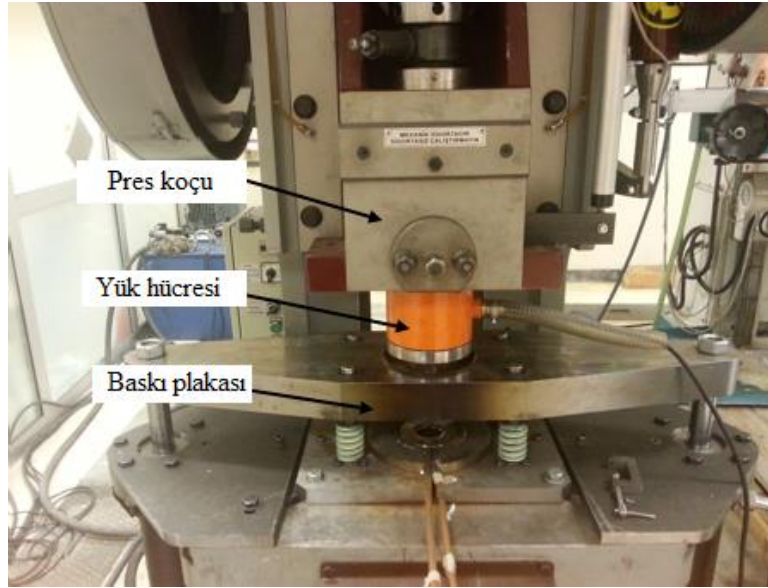
Malzeme	Sıcaklık (°C)	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Pekleşme üsteli (n)	Dayanım sabiti (K)
7128	RT	357	507	0,13	792
	150	320	427	0,12	695
	300	265	429	0,13	728
7140	RT	460	657	0,14	1019
	150	400	525	0,09	921
	300	320	537	0,10	886

Çizelge 2. HC300LA kalite çeliği sac malzemelerin kimyasal bileşimi (Ağırlık %) (Chemical composition of HC300LA sheet material (Weight %))

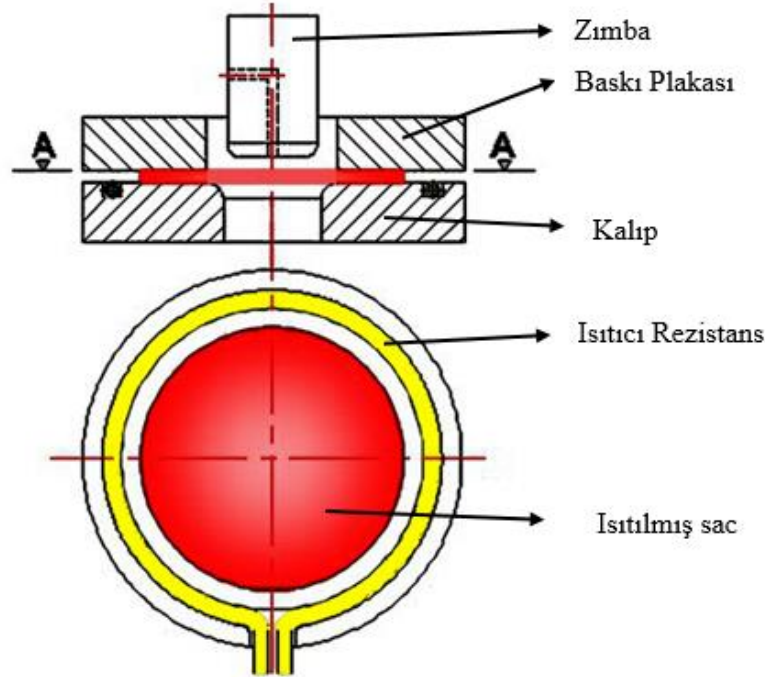
Çelik Kalitesi	C	Mn	Si	Al	Ti
HC300LA	0.03	0.25	0.004	0.05	<0.001
HC420LA	0.07	1.24	0.01	0.06	0.01

sağlanmasında ve kayıt edilmesinde kullanılmaktadır. Yük hücresinin kapasitesi 1000 kN dur. Deney düzeneğinin şematik gösterimi de Şekil 5’de verilmiştir

İkinci aşamada; ılık derin çekme deneylerinde grafit sprej yağlayıcı kullanılarak çekilemeyen deney numunesinden başlayarak, teflon (PTFE) ve grafit sprej yağlayıcının birlikte kullanıldığı derin çekme deneyleri ger-



Şekil 4. Deney düzeneği (Experimental Setup)



Şekil 5. Deney düzeneği şematik gösterimi (Schematic presentation of experimental setup)

DeneySEL çalışmaların ilk aşamasında, ılık derin çekme deneyleri grafit (sprej) yağlayıcı kullanılarak başlanmış ve DR belirlenmiştir. İlk derin çekme deneyleri grafit (sprej) yağlayıcı kullanılmaya devam edilerek deney numunesi çekilemeye kadar dENEYSel çalışma devam etmiştir. Grafit sprej uygulaması, zımba temas bölgesi dışında kalan tüm yüzeylere (alt-üst) elle uygulanmıştır.

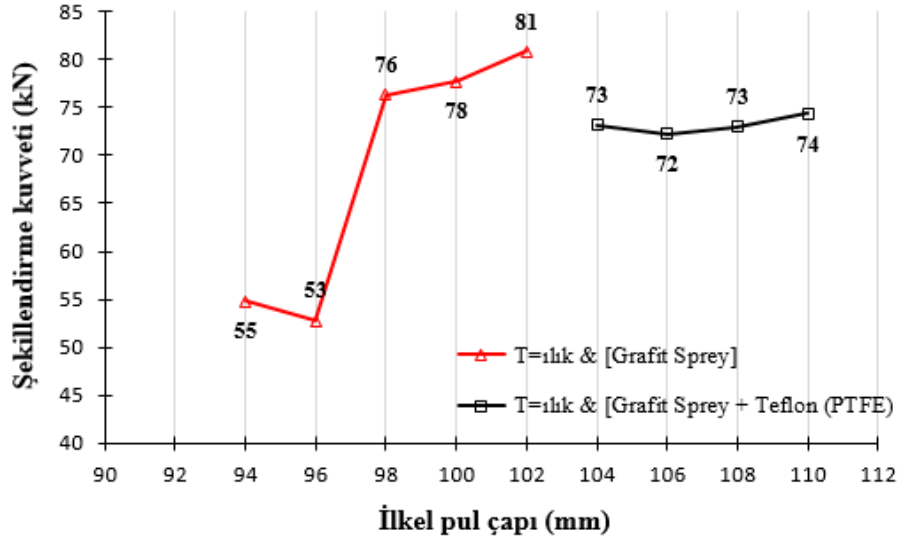
çEKLEŞTİRİLMİŞTİR. Burada; grafit sprej yağlayıcı, deney malzemesinin zımba temas bölgesi hariç (flaş) bölgeye önce elle uygulanmıştır. Daha sonra 0,3 mm kalınlığındaki zımba temas bölgesi çıkartılarak hazırlanan teflon film malzemesi, deney malzemesinin alt ve üstüne konulmuş ve dENEYSel çalışmalar yapılmıştır. Buradaki film haldeki teflon malzeme, baskı plakası ile deney malzemesinin arasındaki sürtünmeyi, grafit ise teflon film malzeme ile deney malzemesi arasındaki sürtünmeyi minimize ederek şekillendirilebilirliği arttırmıştır.

3- BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

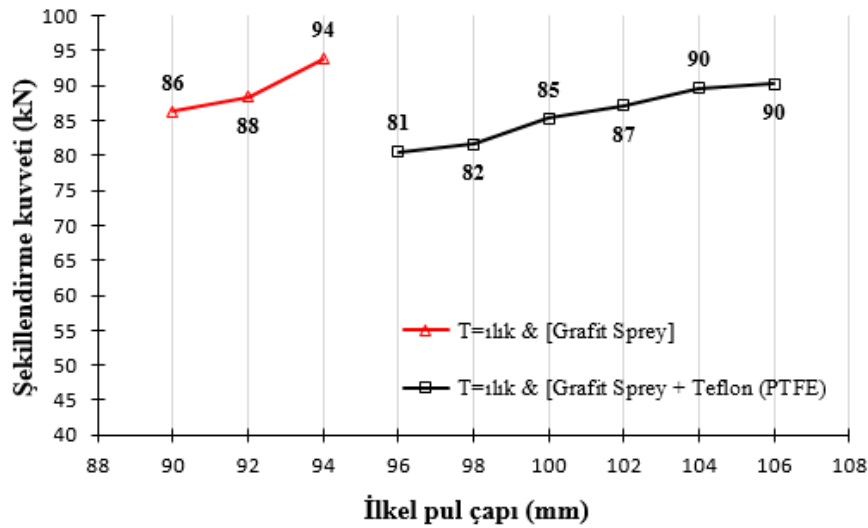
Deneysel çalışmalarda, öncelikle HC300LA sac malzemenin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilebilirliğine yağlayıcının etkisi araştırılmıştır. Her iki yağlayıcı türünde de şekillendirme kuvvetinin azaldığı gözlemlenmiştir. Grafit sprej yağlayıcı kullanarak yapılan ılık derin çekme deneylerinde, 1,2 mm sac kalınlığı için en büyük 102 mm çaplı ilkel pul

kaynaklanmaktadır. HC300LA sac malzeme için yağlayıcı tiplerine göre ilkel pul çapı şekillendirme kuvveti ilişkileri Şekil 6'da verilmiştir.

1,5 mm kalınlıkta HC300LA sac malzeme için yapılan ılık derin çekme deneylerinde, grafit sprej yağlayıcı kullanılarak 94 mm ilkel pul çaplı sac malzeme 94 kN kuvvetle şekillendirilebilmiştir. Yağlayıcının grafit sprej ve teflon birlikte kullanılması durumunda 106 mm ilkel pul çaplı sac malzeme 90 kN kuvvetle



Şekil 6. HC300LA $t=1,2$ mm için, Şekillendirme kuvveti-İlkel pul çapı grafiği (Forming force vs blank diameter graphs for HC300LA $t=1,2$ mm)



Şekil 7. HC300LA $t=1,5$ mm için, Şekillendirme kuvveti-İlkel pul çapı grafiği (Forming force vs blank diameter graphs for HC300LA $t=1,5$ mm)

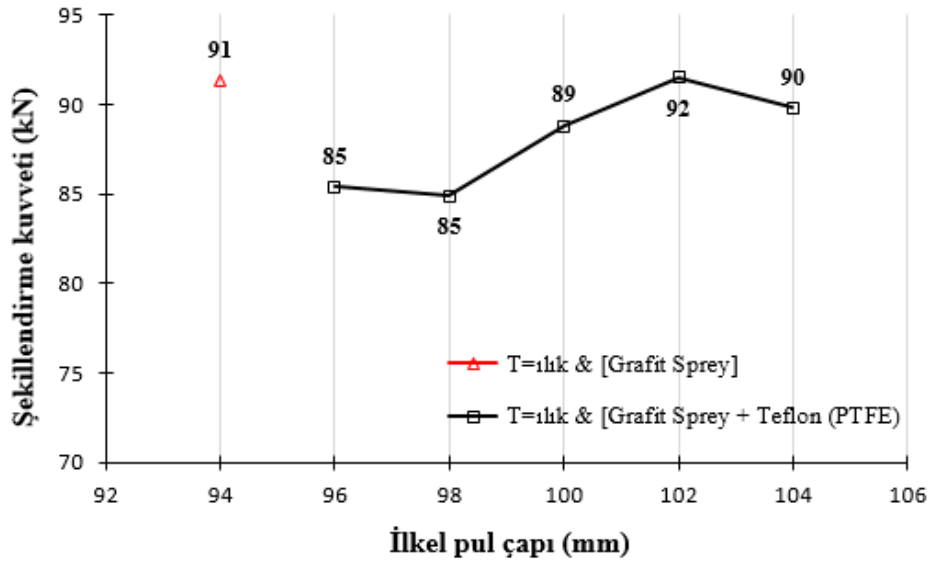
çaplı sac malzeme 81 kN kuvvetle şekillendirilebilirken, grafit sprej ve teflon yağlayıcının birlikte kullanıldığı deneylerde 110 mm çaplı ilkel pul çaplı sac malzemenin 74 kN kuvvetle şekillendirilebildiği gözlemlenmiştir. Daha büyük ilkel pul çaplı sac malzemenin daha düşük kuvvetle şekillendirilmesi, yağlayıcının sürtünme kuvvetini azaltarak sac malzemenin daha düşük kuvvetlerde şekillendirilmesine imkan tanınmasından

şekillendirilebilmiştir. İlkel pul çapının artmasına rağmen şekillendirme kuvvetinde azalma gözlemlenmiştir. Bu durum yağlayıcının etkisiyle sürtünme kuvvetinin azalmasından kaynaklanmaktadır. Şekillendirme kuvveti ile ilkel pul çapı ilişkisi Şekil 7'de verilmiştir.

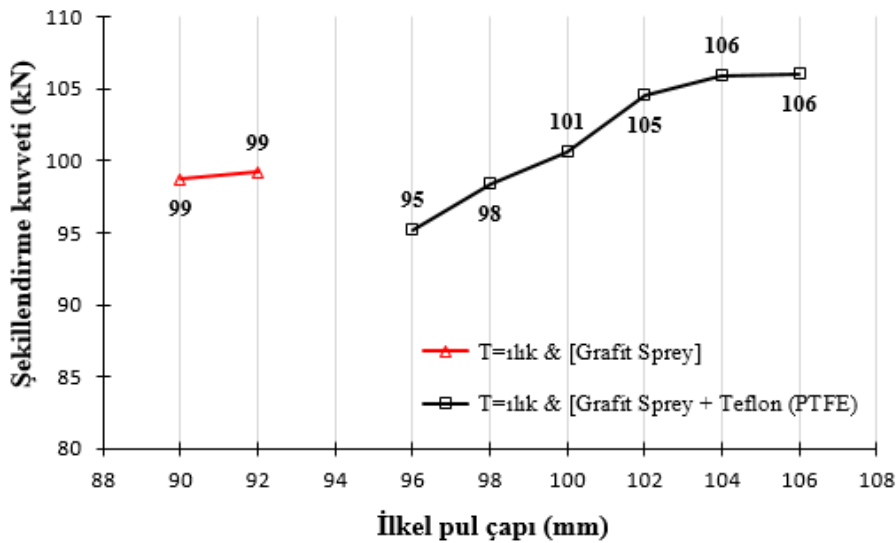
HC420LA sac malzemenin ılık derin çekme deneylerinde de yağlayıcının sadece grafit sprej kullanımı yerine grafit sprej ve teflon malzemesinin birlikte kullanılması durumunda HC300LA sac malzemede olduğu gibi şekillendirme kuvvetinin ilkel pul çapı artmasına rağmen düştüğü gözlemlenmiştir. HC420LA sac malzeme için 1,2 mm kalınlıkta 94 mm ilkel pul çapında 91 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenirken, 104 mm ilkel pul çapında 90 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenmiştir. 1,5 mm sac kalınlığında 92 mm ilkel pul çapında 99 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenirken, 96 mm ilkel pul çapında 95 kN şekillendirme kuvveti gözlemlenmiştir. Şekillendirme kuvveti ilkel pul çapı ilişkileri 1,2 mm kalınlık için Şekil 8’de, 1,5 mm kalınlık için Şekil 9’da

verilmiştir.

Deneyisel çalışmalarda yağlayıcı türünün çekme oranına etkileri araştırılmıştır. 1,2 mm kalınlıkta HC300LA sac malzeme grafit sprej yağlayıcı kullanıldığında en fazla 2,42 çekme oranında şekillendirilebilirken, grafit sprej ve teflon kullanıldığında en fazla 2,61 çekme oranında şekillendirilebilmiştir. 1,5 mm kalınlıkta numunelerde ise yağlayıcının grafit sprej den grafit sprej ve teflonun birlikte kullanımına değiştirilmesiyle çekme oranı 2,30’dan 2,59’a çıkmıştır. Yağlayıcının şekillendirilebilirliğe etkisi belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. İkel pul çapı çekme oranı ilişkileri Şekil 10 ve Şekil 11’de verilmiştir.

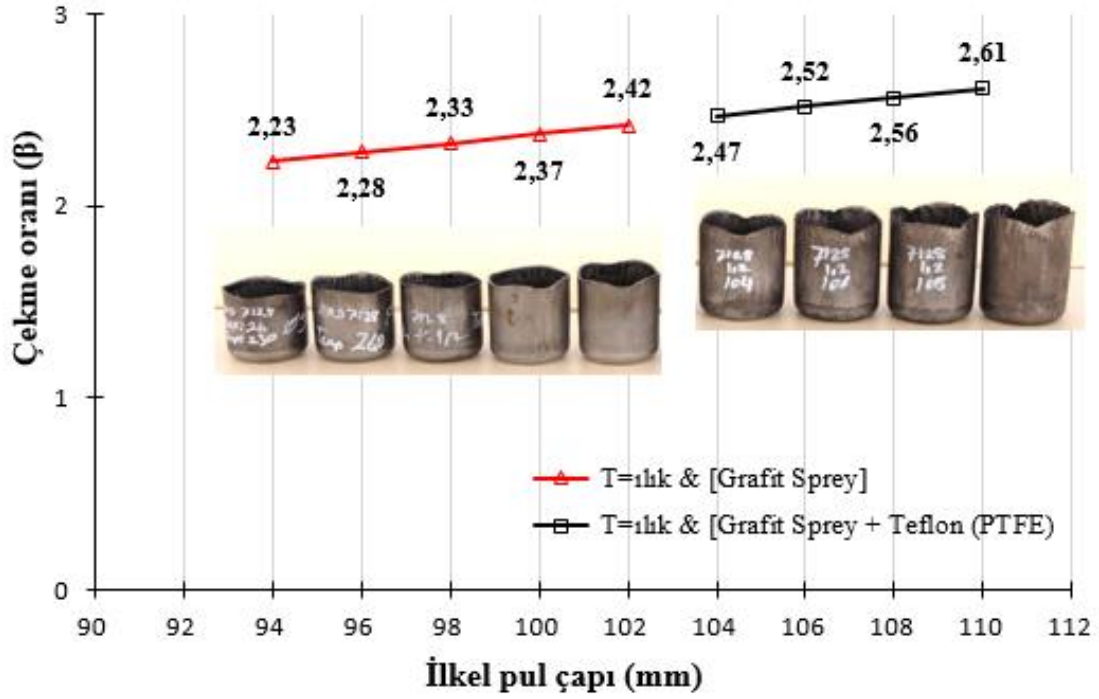


Şekil 8. HC420LA $t=1,2$ mm için, Şekillendirme kuvveti-İkel pul çapı grafiği (Forming force vs blank diameter graphs for HC420LA $t=1,2$ mm)

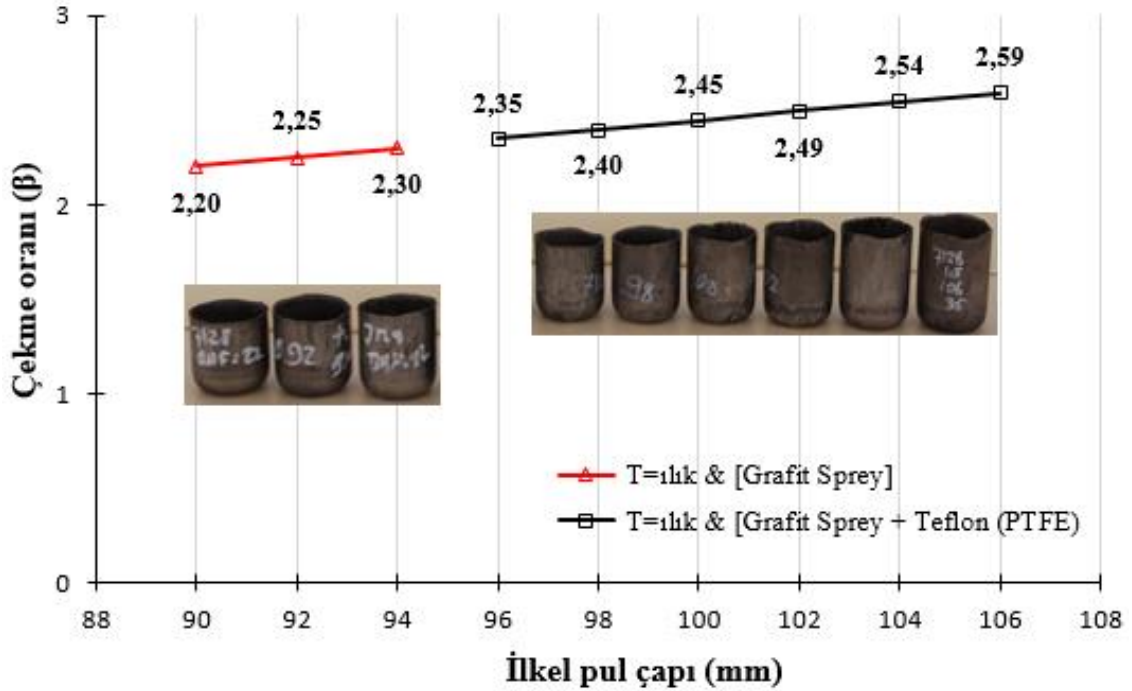


Şekil 9. HC420LA $t=1,5$ mm için, Şekillendirme kuvveti-İkel pul çapı grafiği (Forming force vs blank diameter graphs for HC420LA $t=1,5$ mm)

sprey ve teflonun birlikte kullanılmasıyla 2,47'ye



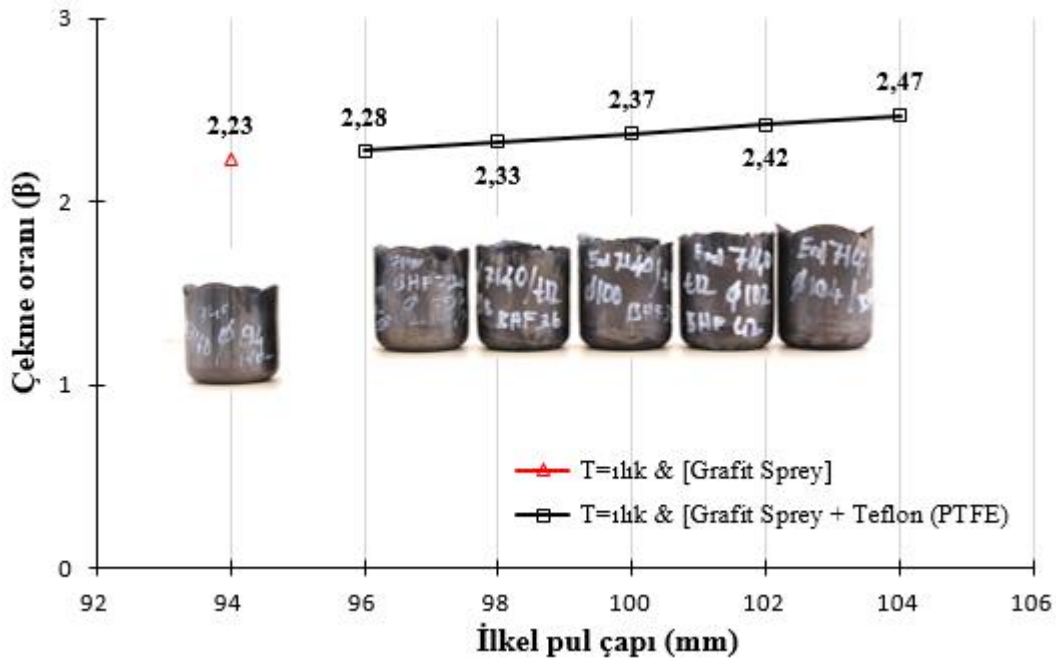
Şekil 10. HC300LA t=1,2 mm için, Çekme oranı-İlkel pul çapı grafiği (Drawing ratio vs blank diameter graphs for HC300LA t=1,2 mm)



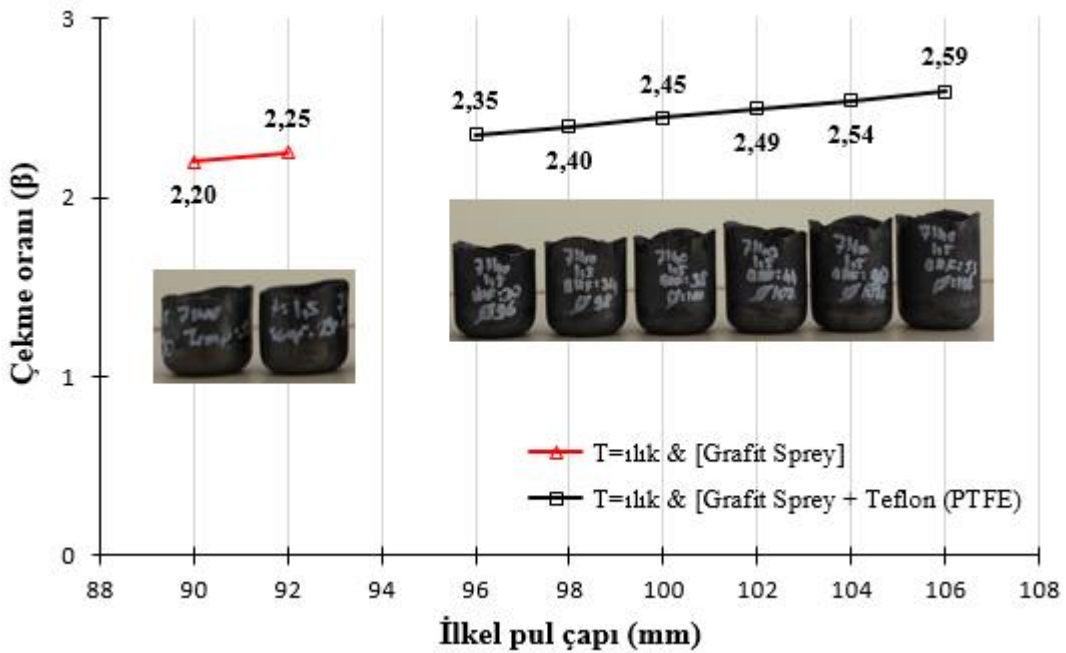
Şekil 11. HC300LA t=1,5 mm için, Çekme oranı-İlkel pul çapı grafiği (Drawing ratio vs blank diameter graphs for HC300LA t=1,5 mm)

HC420LA sac malzeme türü için de yağlayıcının çekme oranına etkisi deneysel çalışmalarda belirgin bir şekilde gözlemlenmiştir. 1,2 mm sac kalınlığı için grafit sprej kullanımı ile 2,23 olan çekme oranı yağlayıcının grafit

yükselmiştir. 1,5 mm sac kalınlığı için de yağlayıcı değişimi ile çekme oranı 2,25'den 2,59'a yükselmiştir. HC420LA sac malzeme için çekme oranı ilkel pul çapı ilişkileri Şekil 12 ve Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 12. HC420LA t=1,2 mm için, Çekme oranı-İlkel pul çapı grafiği (Drawing ratio vs blank diameter graphs for HC420LA t=1,2 mm)



Şekil 13. HC420LA t=1,5 mm için, Çekme oranı-İlkel pul çapı grafiği (Drawing ratio vs blank diameter graphs for HC420LA t=1,5 mm)

4- SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, yüksek mukavemetli HC300LA ve HC420LA sac malzemelerinin ılık derin çekme yöntemiyle şekillendirilmesinde şekillendirme kuvveti ve çekme oranı üzerine yağlayıcı türünün etkileri deneysel olarak araştırılmış ve şu bulgular elde edilmiştir.

1. ılık derin çekme deneylerinde grafit sprej yağlayıcı kullanılması durumunda HC300LA

sac malzemesi için 1,2 mm kalınlıkta çekme oranı 2,42, 1,5 mm kalınlıkta çekme oranı 2,30 elde edilmiştir. Grafit sprej ve teflon malzemesinin birlikte yağlayıcı olarak kullanılması durumunda ise 1,2 mm kalınlıkta çekme oranı 2,61'e, 1,5 mm kalınlıkta çekme oranı 2,59'a artmıştır.

2. HC420LA sac malzeme için çekme oranı grafit sprej olan yağlayıcının grafit sprej ve teflon malzemesi olarak değiştirilmesiyle, 1,2 mm

kalınlıkta 2,33 olan çekme oranı 2,47'ye, 2,25 olan çekme oranı da 2,59'a artmıştır.

3. İlık derin çekme yönteminde ilkel pul çapının artmasına rağmen yağlayıcı tipinin grafit spreyden grafit sprey ve teflon malzeme birlikte kullanımına değiştirilmesiyle şekillendirme kuvvetinin azaldığı tespit edilmiştir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENTS)

Bu çalışma; Karabük Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü tarafından KBÜ-BAP-13/2-Dr-017 kod numaralı proje ile desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Rektörlüğüne teşekkür ederiz. Ayrıca, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme ve Mükemmeliyet Merkezi (MŞMM) ve personeline de deneysel çalışmaya verdikleri katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERNCES)

- [1] S. H. Zhang, K. Zhang, Y. C. Xu, Z. T. Wang, Y. Xu, and Z. G. Wang, "Deep-drawing of magnesium alloy sheets at warm temperatures," *J. Mater. Process. Technol.*, 185(1-3): 147-151, (2007).
- [2] Q.-F. Chang, D.-Y. Li, Y.-H. Peng, and X.-Q. Zeng, "Experimental and numerical study of warm deep drawing of AZ31 magnesium alloy sheet," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, 47(3-4): 436-443, (2007).
- [3] H. J. Bong, F. Barlat, D. C. Ahn, H. Y. Kim, and M. G. Lee, "Formability of austenitic and ferritic stainless steels at warm forming temperature," *Int. J. Mech. Sci.*, 75: 94-109, (2013).
- [4] J. Lade, B. N. Banoth, A. K. Gupta, and S. K. Singh, "Metallurgical Studies of Austenitic Stainless Steel 304 under Warm Deep Drawing," *J. Iron Steel Res. Int.*, 21(12): 1147-1151, (2014).
- [5] G. Palumbo and L. Tricarico, "Numerical and experimental investigations on the Warm Deep Drawing process of circular aluminum alloy specimens," *J. Mater. Process. Technol.*, 184(1-3): 115-123, (2007).
- [6] M. Kumar, N. Sotirov, and C. M. Chimani, "Investigations on warm forming of AW-7020-T6 alloy sheet," *J. Mater. Process. Technol.*, 214(8): 1769-1776, 2014.
- [7] H. Wang, Y. Luo, P. Friedman, M. Chen, and L. Gao, "Warm forming behavior of high strength aluminum alloy AA7075," *Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 22(1): 1-7, (2012).
- [8] G. Ambrogio, L. Filice, G. Palumbo, and S. Pinto, "Prediction of formability extension in deep drawing when superimposing a thermal gradient," *J. Mater. Process. Technol.*, 162-163(SPEC. ISS.): 454-460, (2005).
- [9] H. Laurent, J. Coër, P. Y. Manach, M. C. Oliveira, and L. F. Menezes, "Experimental and numerical studies on the warm deep drawing of an Al-Mg alloy," *Int. J. Mech. Sci.*, 93: 59-72, (2015).
- [10] N. Kotkunde, A. D. Deole, A. K. Gupta, S. K. Singh, and B. Aditya, "Failure and formability studies in warm deep drawing of Ti-6Al-4V alloy," *Mater. Des.*, 60: 540-547, (2014).
- [11] H. Takuda, K. Mori, T. Masachika, E. Yamazaki, and Y. Watanabe, "Finite element analysis of the formability of an austenitic stainless steel sheet in warm deep drawing," *J. Mater. Process. Technol.*, 143-144(1): 242-248, (2003).
- [12] E. Odenberger, "Material Characterisation for Analyses of Titanium Sheet Metal Forming," *Thesis*, (2005).
- [13] Z. Marciniak, J. L. Duncan, and S. J. Hu, "Mechanics of sheet metal forming," *Exp. Mech.*, 16(9): 337-342, (2002).

Taşıt Süspansiyon Sistemi Çeşitleri ve Ön Düzen Geometrisine Etkileri

Yakup PUTGÜL, Duran ALTIPARMAK

Gazi Üniversitesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara

(Geliş / Received : 05.07.2015 ; Kabul / Accepted : 14.07.2015)

ÖZ

Taşıtlarda sürüş güvenliği ve konforunun sağlanması ön düzen ve süspansiyon sistemlerinin uyum içinde çalışmasına bağlıdır. Taşıt süspansiyonlarının ana görevi; iyi bir sürüş ve yol tutuş performansı sağlamak, dönüş esnasında direksiyon kontrolü sağlamak ve taşıtın kontrol kuvvetlerine iyi yanıt vermektir. Süspansiyon sistemi, aynı zamanda tekerleklerden gelen yüksek frekanslı titreşimlerin yalıtımını da sağlamalıdır.

Bu çalışmada, araç dinamik hareketi, güvenliği ve konforu ele alınarak tasarlanan ön düzen ve süspansiyon geometrisinin yapısal özellikleri incelenmiştir. Süspansiyon sistemlerinin taşıt hareketleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Farklı mekanizmalar incelenmiş ve bunların birbirlerine göre üstün ve eksik yönlerinin neler olduğu belirlenmiştir. Tüm bu çalışmaların sonucunda ideal bir ön düzen geometrisinde ve süspansiyon sisteminde bulunması gereken nitelikler ortaya koyulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Süspansiyon mekanizması, taşıt dinamiği, yol tutuşu, kararlılık

Vehicle Suspension System Types and Their Effects on Front Axle Geometry

ABSTRACT

Ensuring driving safety and comfort in vehicles depends on the front axle geometry and suspension system which work in harmony. The main task of the vehicle suspension is to provide a good ride and handling performance, to ensure steering control during return and to respond well to the vehicle's controlled force. The suspension system must also ensure to isolate of high-frequency vibrations from the road wheels.

In this study; vehicle movement dynamics, structural characteristics and arrangement of the front suspension geometry designed by considering the safety and comfort were investigated. Effects of the suspension system on vehicle movements were researched. Different mechanisms have been examined and it was determined that what are the advantages and disadvantages comparing each other. As a result of this study it has put forward the necessary characteristics for an ideal front axle geometry and suspension system.

Keywords: Suspension mechanism, vehicle dynamics, vehicle handling, stability

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Süspansiyon sistemi, araç şasesi ve tekerlekler arasında yer alan ve yay, amortisör, burç, çubuk, bağlantı ve kollarından oluşan bir sistemdir.

Süspansiyon sistemi gövdeyi akslar üzerinde tutan elemandır. Gerek araç dinamiğinden kaynaklanan gerekse yoldaki düzensizliklerden meydana gelen hareketleri sönmüleyen süspansiyon sisteminin görevleri şu şekilde özetlenebilir [1]:

- Araç gövdesinin yolun bozucu etkisinden izole edilmesi ve bu sayede aracın konfor özelliklerinin artırılması: Bu özellik genelde aracın gövdesinin hareketi ile ilişkilendirilir. Aynı zamanda aracın yalpalama hareketlerinin kontrol altına alınması da süspansiyonun konfora yönelik görevlerinden birisidir

[2,3].

- Aracın gerek düz gerek düzgün olmayan yol şartlarında ayrıca hızlanma ve fren sırasında yol tutuş özelliklerinin sağlanması: Bu özellik ise dikey kuvvetlerin etkisi sonucunda meydana gelen tekerleğin şekil değiştirmesi ile ilgilidir. Şekil değişiminin azaltılması araçta daha iyi yol tutuşu, çekiş, fren ve dönme özellikleri sağlayacaktır [2,3].
- Aracın statik ağırlığını dengelemek: Bu özellik süspansiyon stroku ile ilgilidir.

Aynı zamanda süspansiyonun yüksek frekanslı titreşimleri sönmüleme gibi bir özelliği vardır. Bu sayede araçta meydana gelebilecek gerek gürültü, gerekse yorulma gibi dayanım unsurlarının geliştirilmesinde süspansiyonun önemli bir etkisi bulunmaktadır. Süspansiyon sisteminin ana elemanlarını oluşturan yaylar statik ağırlıkları taşıırken damperler de bozucu etkilerin oluşturduğu enerjiyi soğurur. Yay bilindiği üzere düşey yer değiştirme (salınım) ile orantılı bir kuvvet oluştururken,

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: yakupputgul@gmail.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2016.19.2 195-202

damperlerden meydana gelen tepki kuvveti ise hareketin hızı ile ilgilidir [1].

Süspansiyon tasarımına ilk olarak, yolcular için arzu edilen sürüş konfor şartları ve taşınacak olan yükün dayanabileceği titreşim aralığı düşünülerek başlanmalıdır. Taşıtın sürüş esnasında yapması tahmin edilen sürüş hareketleri de tasarım aşamasında bunlarla eşleştirilebilir [4].

Süspansiyon sistemi, taşıtın alt sistemi olduğu için, tasarıma başlamadan önce kararlaştırılması gereken birkaç parametre vardır. Bunlar, tekerlek izi, dingil açıklığı, kütle, maksimum hız, maksimum eğim, 0-100 km/h hızlanma süresi, minimum dönüş açısı, direksiyon simidinin dış yarıçapı ve tekerlek genişliğidir [5].

Süspansiyon sistemi, hızlanma, frenleme, viraj alma, bozuk zeminde ilerleme gibi farklı çalışma şartlarında gerekli olan güvenliği ve konforu sağlamalıdır.

Çeşitli parçalar, yaylar, damperler, tekerlek sertliği, burç sertliği, bağlantılar, onların geometrik ilişkileri ve süspansiyon tipi aracın dinamik davranışlarını çok etkiler [6].

Taşıt süspansiyonlarının ana görevi; iyi bir sürüş ve yol tutuş performansı sağlamak, dönüş esnasında direksiyon kontrolü sağlamak ve taşıtın kontrol kuvvetlerine iyi yanıt vermektir. Süspansiyon sistemi, aynı zamanda tekerleklerden gelen yüksek frekanslı titreşimlerin yalıtımını da sağlamalıdır [7,8].

Otomobillerin ilk üretildiği yıllarda sabit akslı ön süspansiyon sistemleri kullanılmaktaydı. Bu sistem çok dayanıklı ve orta ve ağır yük taşıtlarında hala kullanılmakta olan bir sistemdir. Sabit akslı sistemin en büyük dezavantajı ise sürüş kalitesindeki eksikliklerdir. Bir tekerlek tümseğe çarptığında veya çukura düştüğünde, ortaya çıkan kuvvet karşı taraftaki tekerleğe aks üzerinden direkt olarak iletilmektedir. Bu da sürüş konforunu olumsuz etkilemektedir. Buna karşılık, bu sistem birçok taşıtta arka süspansiyon sistemi olarak günümüzde de kullanılmaktadır [9].

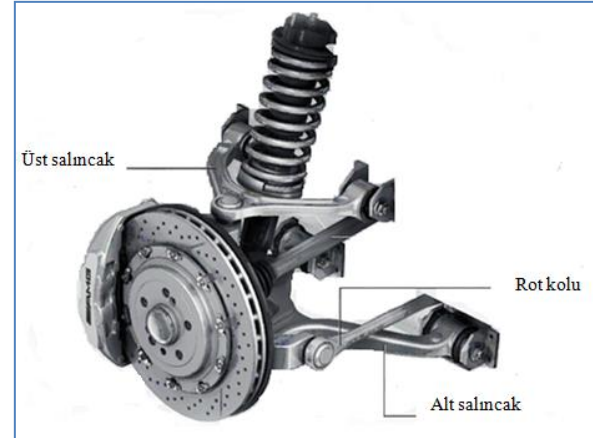
Günümüz otomobillerinde, serbest süspansiyon sistemlerinin farklı modelleri kullanılmaktadır. Serbest süspansiyonlarda her bir tekerlek ayrı bir sistem ile kontrol edilmektedir. Bunun sonucunda da yol yüzeyindeki düzensizliklere rağmen daha konforlu bir sürüş elde edilebilmektedir. Ayrıca, diğer tekerleğin hareketi ne olursa olsun, aracın dengesinin korunmasını sağlamaktadır. Bunlara ek olarak, serbest süspansiyonlar aracın sürüş ve yol tutuş kalitesini geliştirmekte ve lastiklerin ömrünü uzatmaktadır [10].

2. ÇİFT SALINCAKLI SÜSPANSİYON (DOUBLE-WISHBONE SUSPENSION)

Bu süspansiyon sistemi araç şasesine dönebilir şekilde yataklanmış olup, dış uçları küresel mafsallarla aks poyrasında oynak olarak yataklanmış iki salıncaktan meydana gelmektedir. Salıncaklar arasında ise halka şeklinde yay bulunmaktadır. Tekerlek yukarı ve aşağı doğru hareket ettikçe, her iki salıncak da aynı şekilde yukarı

ve aşağı doğru hareket etmekte ve bu salıncaklar arasında bulunan yay da uzayıp kısalmaktadır [10].

Taşıt tipinden bağımsız olarak, çift salıncaklı süspansiyonun ana parçaları benzer olarak, üst salıncak, alt salıncak, döner pim, yay, damper ve tekerlektir. Direksiyon sistemi süspansiyon sistemini etkilediği için, iki sistem birlikte düşünülmelidir. Direksiyon sistemi özet olarak, krameyer, bağlantı çubuğu ve direksiyon kolundan oluşur [5].



Şekil 1. Çift salıncaklı süspansiyon (Double-wishbone suspension)

Bu süspansiyon sistemi, yolcuların konforu ve kabul edilebilir bir sertlik dahilinde sürüş için tasarlanmıştır. Konfor, günümüz taşıtlarında önemi gittikçe artan bir özellik olmaktadır. Bu yüzden, bu süspansiyonun odak noktası da konfordur. Çift salıncaklı süspansiyon günümüzde, BMW X5, Benz M-Class, Audi Q7 vb. gibi yüksek sınıf taşıtlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat konfor, pahalı taşıtlara özel olmamalıdır. Otomobil fiyatlarının sürekli düşmesiyle birlikte, çift salıncaklı süspansiyon gelecekte aile otomobillerinde de görülecektir. Çift salıncaklı süspansiyon, birkaç farklı parçadan etkilendiği için, bu parametrelerin dikkatli bir şekilde dengelenmesiyle başarı elde edilmektedir [5].

Bu süspansiyon modeli, hafiflik ve istenmeyen karşılıklı tekerlek etkisinin engellenmesi konusunda oldukça başarılıdır. Bu başarı, taşıtın şasesine monte edilmiş olan ve her iki kenarında yer alan enine salıncaklar sayesinde elde edilmektedir [11].

Bu süspansiyon sisteminde salıncakların farklı uzunlukta olması, tekerleklerin yukarı ve aşağı hareketlerinin dengelenmesini sağlar. Örneğin, ön tekerlekler bir tümseğe çarptığında, tekerlekler yukarı doğru ani hareket yaparlar. Bu hareketi dengelemek için, üstteki salıncak daha kısa olarak tasarlanmıştır. Böylece sarsıntı sebebiyle izlediği kavis alt salıncaktan daha kısadır. Bu tekerleğin üst kısmının taşıtın içine doğru eğilmesine sebep olur. Bu sayede tekerleğin sürünerek aşınmasına neden olan yan hareketi önlenmiş olur ve bunun sonucunda tekerlek aşınmaları azaltılmış olur [12].

Çift salıncaklı süspansiyonun en büyük faydası, salıncakların birbirlerine göre olan durumları ile ani dönme

merkezi arzu edilen her yüksekliğe getirilebilir. Yön verici kolların kamber açısı değişimi ile iz değişimine tesir edebilir. Farklı uzunluklardaki salıncıklar tekerleklerin yaylanmasında bir kamber açısı değişimine sebep olmakta ve araç gövdesinin devrilme eğilimi nedeniyle viraj dışındaki tekerlekteki pozitif kamber açısı değişimine karşı gelecek şekilde tesir etmektedir [11].

3. MACPHERSON SÜSPANSİYON (MACPHERSON SUSPENSION)

MacPherson süspansiyon sistemi, günümüz yolcu taşıtlarında yaygın olarak kullanılmakta olan serbest süspansiyon sistemlerindedir. Bu süspansiyon sistemi, Earles S. MacPherson tarafından 1949 yılında Ford şirketinde geliştirilmiştir. Sadeliği ve düşük maliyeti nedeniyle, otomotiv mühendisleri, bu sistemin kinematik ve kinetik özelliklerini derinlemesine incelemektedirler [13].

MacPherson tipi ön süspansiyon sistemi aracın gövdesine, yay, amortisör ve lastik takozlar vasıtası ile bağlıdır. Birçok yol darbesi, bu yay-amortisör sayesinde emilmektedir [14].

MacPherson tip süspansiyon sistemi çift salıncaklı süspansiyon sisteminin özel bir durumu olarak düşünülebilir. Bu sistemde üst salıncak yerine, kayabilir bir destek vardır [15].

Buna karşılık, yukarıya doğru uzatılmış dayanak için çamurlukta bir oynak nokta bulunmakta ve bu kuvvetlendirilerek eğilmeye karşı mukavim bir titreşim söndürücüsü olarak şekillendirilmiş ve piston çubuğu elastik bir yatak yardımıyla karoseriye sabitlenmiştir [16].



Şekil 2. MacPherson süspansiyon (MacPherson suspension)

Yaylı ayaklar, tahrik edilen akslarda biraz değişik bir şekilde kullanılmakta ve tahrik edilen aksların serbest olarak geçişini sağlayabilmek için dayanağın üst kısmı ile sabit bir şekilde bağlanmıştır. Her durumda çift salıncaklı askı sistemine göre iki salıncığın kullanılmaması sağlanmıştır [16].

MacPherson tip süspansiyon sistemi, özellikle küçük ve orta büyüklükteki araçlarda yaygın olarak kullanılmakta olan bir sistemdir. Dünya’da yaygın olarak kullanılan bu

sistem, önden çekişli araçlar için mükemmel bir çözümdür [17].

MacPherson ön süspansiyon sistemi, sade yapısı, hafifliği, az yer kaplaması ve düşük maliyeti sebebiyle küçük araçlarda oldukça yaygın bir kullanıma sahiptir [10].

Günümüzde, önden çekişli araçların büyük çoğunluğu MacPherson tip süspansiyon modeliyle satışa sunulmaktadır. MacPherson’ın ana avantajı, süspansiyon ve tekerlek kontrolünü sağlayan tüm parçaların, tek bir montajda birleştirilebiliyor olmasıdır [18].

MacPherson süspansiyon sistemi, enine motorlar için çok büyük avantaj sağlar ve bundan dolayı önden çekişli araçlarda yaygın olarak kullanılır. Bağlantı noktalarının gövde üzerinde ayrı olması nedeniyle, tekparçalı yapılar ile iyi uyumludur. Yapıda parça sayısının az olmasının da çok büyük avantajları vardır ve süspansiyon yükleri gövde üzerinde daha geniş bir alana yayılabilir [6].

Bu süspansiyon sisteminin faydalı yönü, iki salıncak yatağının tasarrufunun sağlanmasının yanında imalat yönünden meydana gelen hataların tesirinin az olması ve normal olarak yapılan kamber açısı ayarından vazgeçilebilmesidir. Bunlara ilaveten ekonomik bir imalat şekli ile çok az bir yer gereksinimini burada belirtmek gerekir. Hatalı yönü kuvvetlerin çamurluğa iletilmesidir. Bu nedenle çamurluğun veya iç sacın kuvvetlendirilmesi şarttır. Yoldan gelen gürültülerin izolasyonu bazı zorluklar yaratmakta ve oturağın lastiklere yataklanması mümkün olmamaktadır. Yüksek ani dönme merkezine yalnızca yaylı ayağın ve alt salıncığın oldukça eğik bir şekilde yerleştirilmesi ve büyük bir açıklıkla ulaşılabilir. Ani dönme merkezi zannedildiği gibi çift salıncaklı askı sistemlerinden daha yüksek olmayıp bilakis artan yüklemeye ile kuvvetli bir şekilde alçalmaktadır [16].

MacPherson tip süspansiyonun ön aksta kullanılması halinde araç gövdesinin yaylandırılması çift salıncaklı sistemde olduğu gibi boyuna yönde alt salıncığa tespit edilmiş olan torsiyon çubuk yayları ile veya amortisör ayağının üst kısmında karoserideki yay tablası ile amortisör borusu arasına yerleştirilmiş bulunan helisel yaylarla yapılmaktadır [16].

MacPherson tip süspansiyonun avantajları yanında, eğik karakterli yapısı nedeniyle de birçok zorluğu mevcuttur. Ancak yapısındaki esnekliğin araç dinamiklerine olumlu katkısı bulunmaktadır. Bu esneklik, başta kamber açısı olmak üzere, süspansiyon geometrisini etkilemektedir. Bunun da aracın kullanımı ve sürüş güvenliği üzerinde etkisi vardır. Kamber açısındaki değişim, özellikle virajlarda aracın tutunmasını etkilemektedir [17].

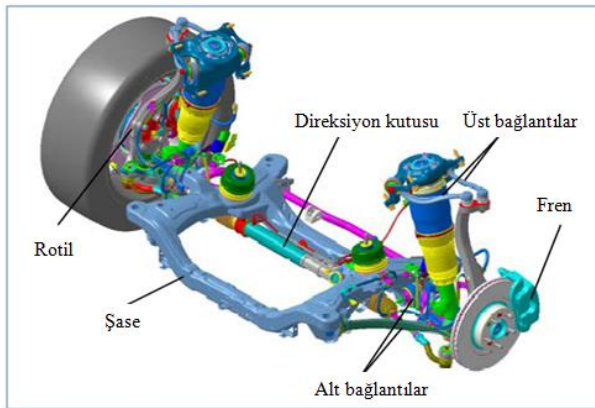
MacPherson tip süspansiyon tasarımında, dinamik kamber açısındaki değişimin aşırıya kaçmasını önlemek amacıyla, yapıdaki sapmayı göz önünde bulundurmaktadır. Eğer bu dinamik değişim aşırı olursa, taşıt kullanımı ve kararlılığı olumsuz etkilenir [17].

4. ÇOK KADEMELİ SÜSPANSİYON (MULTI-LINK SUSPENSION)

Çok kademeli süspansiyon, serbest süspansiyon sistemlerinde kullanılan, iki veya daha fazla yanıl kol, bir veya daha fazla da uzunlamasına kol bulunan taşıt süspansiyon modelidir. Bu süspansiyon modelinin net olarak belirlenmiş bir tipi olmadığı için, yapısını tarif etmek biraz zordur. Farklı tasarımlar çok farklı geometrilere ve karakterlere sahip olabilmektedir. Örneğin BMW'nin geliştirdiği çok kademeli süspansiyon modeli "Z" harfine benzemektedir ve adına "Z askılı" süspansiyon modeli demiştir ve çok iyi bir yol tutuşu sunmaktadır. Honda'nın Accord modelinde kullandığı çok kademeli model ise çift salıncaklı süspansiyon modeline beşinci kontrol kolunun eklenmesi yöntemiyle geliştirilmiş bir modeldir. Audi'nin A4 modelinde kullandığı sistemde de dört adet kontrol kolu bulunmaktadır ve adına "Quadralink" süspansiyon modeli demiştir. Görünüş olarak çift salıncaklı süspansiyon modeline benzemektedir ancak dönme momentinden kaynaklanan yönlendirme etkisini ortadan kaldırmaktadır [19].

Çok kademeli süspansiyon sisteminin çift salıncaklı sistemden daha iyi bir yol tutuşu sağladığı kesin olarak söylenemez. Çünkü hala spor arabaların çoğunda ve en iyi yarış araçlarında çift salıncaklı süspansiyon modeli kullanılmaktadır. Bununla birlikte, çok kademeli süspansiyonun hem yol tutuşu hem de kapladığı alan açısından en iyi birleşimi sunduğu görülmüştür ve bu yüzden binek taşıtlarda gün geçtikçe daha fazla tercih edilmektedir [19].

Çok kademeli süspansiyon sistemi tasarımcılara aynı taşıt üzerinde hem iyi bir sürüş hem de iyi bir yol tutuşunu bir arada sunabilme fırsatını vermektedir. Bu sistem taşıtın daha esnek olmasına izin vermektedir ve böylece farklı yol şartlarında ön düzen açıları meydana gelen değişimlere kolaylıkla uyum sağlayabilmektedir. Fakat pahalı ve karmaşık bir sistemdir. Bu sebeple daha çok orta ve üst sınıf araçlarda kullanılmaktadır.

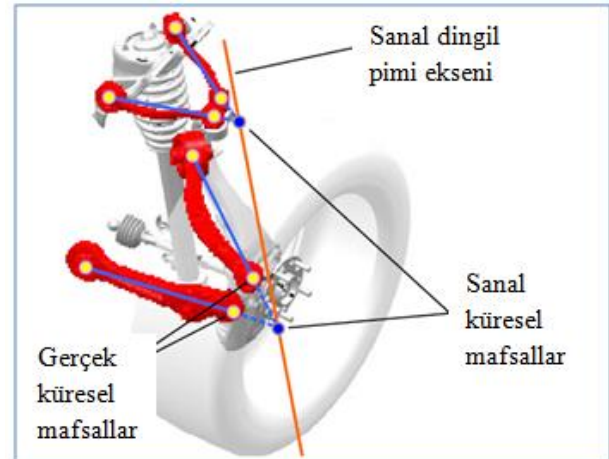


Şekil 3. Çok kademeli süspansiyon modeli (Multi-link suspension model) [36]

Şekil 3.'te Hyundai'nin Genesis modeli için geliştirdiği ön süspansiyon modeli bulunmaktadır. Sistem iki adet üst bağlantı, iki adet alt bağlantı ve bir adet rot kolundan

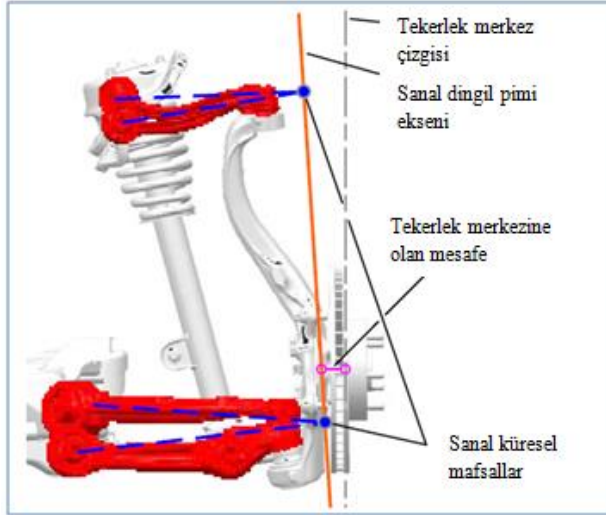
meydana gelmektedir. Çift salıncaklı sistem ve MacPherson sistemiyle karşılaştırıldığında tamamen değiştirilmiş bir yapıya sahiptir. Üst ve alt kontrol kolları ikiye adet bağlantı olacak şekilde bölünmüştür. MacPherson ve çift salıncaklı süspansiyona göre tasarım açısından daha çok serbestliği vardır. Buna karşılık bağlantı sayılarındaki artış nedeniyle sistemin sürtünme katsayısında artış olmuştur. Bu sürtünme de sürüş ve yol tutuş kalitesini olumsuz etkileyen bir durumdur. Bu nedenle tasarım aşamasında sürtünmeyi kontrol altına alacak bir strateji düşünülmelidir [20].

Üst ve alt kontrol kolu yerine çift bağlantılar kullanımının performans üzerinde bazı avantajları bulunmaktadır. Birinci avantajı sürüş kararlılığıdır. Dingil pimi eksenini çift salıncaklı sistemde üst ve alt küresel mafsallara göre hesaplanmaktadır. MacPherson'da ise alt küresel mafsallara göre hesaplanmaktadır. Çok kademeli modelde ise Şekil 4.'te görüldüğü gibi alt ve üst bağlantıların uzantılarının kesişiminde yer alan iki sanal küresel mafsala göre hesaplanır. Sanal dingil pimi eksenini dönüş manevrası sırasında hareket eder; çünkü sanal mafsallar da rotiller üzerinde yer alan küresel mafsallar ile birlikte hareket etmektedir. Bundan dolayı, ön süspansiyonun kaster açısı gibi yönlendirmeyle ilgili karakteristikleri de manevra sırasında değişim gösterir [21, 22].



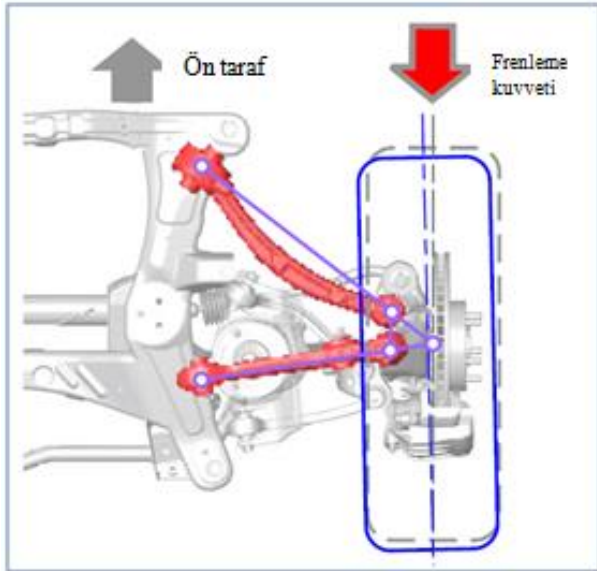
Şekil 4. Sanal dingil pimi eksenini (Axes of swivel pin) [20]

Çift bağlantı kullanımının ikinci avantajı ise tekerleklerden gelen titreşimlerin azaltılmasıdır. Sanal dingil pimi eksenini sanal küresel mafsallar üzerinden geçtiği için fiziksel yapıdan bağımsız olarak ayarlanabilir. Şekil 5.'te sanal dingil pimi eksenini ve onun tekerlek merkezine olan mesafesi görülmektedir. Dingil pimi ekseninin tekerlek merkezine olan mesafesi çift mafsallı olarak azaltılabilir. Çünkü dingil pimi eksenini ile tekerlek merkezi arasındaki mesafe azaltılırsa, tekerleklerdeki asimetriden ya da düzgün olmayan yollardaki sürüş sırasında meydana gelen titreşimler azaltılabilir. Tek mafsallı bulunan çift salıncaklı süspansiyonda ya da MacPherson tip süspansiyonda ise rotiller üzerinde yer alan küresel mafsalların fiziksel yapısı dingil pimi eksenini ile tekerlek merkezi arasındaki mesafenin ayarlanmasını kısıtlamaktadır [20].



Şekil 5. Dingil pimi eksenini ve onun tekerlek merkezine olan mesafesini (Distance between swivil pin axes and centre of wheel) [20]

Üçüncü avantajı sürüş hissiyatındaki artıştır. Geliştirilen süspansiyon sisteminde uzunlamasına kuvvetlere göre tekerleğin hareketi, diğer süspansiyon sistemleriyle karşılaştırıldığında daha büyüktür. Çünkü alt bağlantıların yapısı Şekil 6.'da görüldüğü gibi dört çubuk mekanizmasına benzer yapıdadır. Bu yüzden bağlantıların konumu dış kuvvetler sebebiyle değiştirilir ve bu sürüş hissiyatını artırır çünkü darbeyi emme kapasitesi alt kontrol kolu sabit olan yapılara göre daha yüksektir[20].



Şekil 6. Frenleme esnasındaki Toe-in açısı (Toe-in angle when braking) [20]

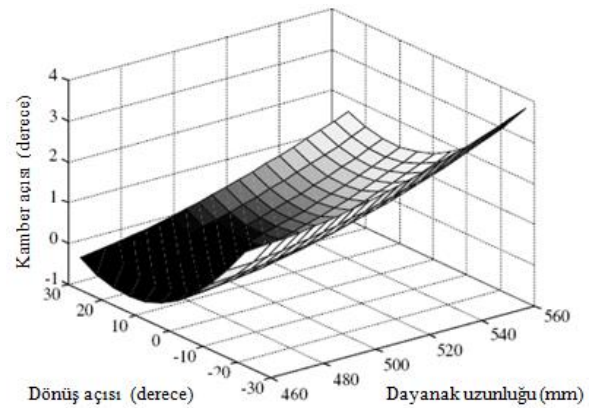
5. FARKLI SÜSPANSİYON SİSTEMLERİNİN TAŞIT HAREKETİNE ETKİLERİ (EFFECTS OF DIFFERENT SUSPANSION SYSTEM ON VEHICLE MOVEMENT)

Taşıtlarda ön düzen geometrisi ve süspansiyon sistemi bir bütündür. Taşıtların hareketine etkileri de birbirinden bağımsız olarak düşünülemez. Taşıtların hareketleri üzerinde süspansiyon sisteminin yapısından kaynaklanan farklı etkiler bulunmaktadır. Fakat bu etkiler süspansiyon modellerine göre değişiklik göstermektedir.

MacPherson tip süspansiyonun eğik karakterli yapısı nedeniyle de birçok zorluğu mevcuttur. Ancak yapısındaki esnekliğin araç dinamiklerine olumlu katkısı da bulunmaktadır. Bu esneklik, başta kamber açısı olmak üzere, süspansiyon geometrisini etkilemektedir. Bunun da aracın kullanımı ve sürüş güvenliği üzerinde etkisi vardır[17].

Süspansiyonun esnek yapısı nedeniyle kamber açısında meydana gelen değişim, özellikle dönüş sırasında taşıtların yol tutuşunu ve kararlılığını önemli ölçüde etkilemektedir. Eğer bu değişim gereğinden fazla olursa sürüş güvenliği açısından istenmeyen durumlar oluşabilir. Taşıtların dönüş sırasında meydana gelen bu değişikliğe yanıt olarak taşıtların tekrar düz doğrultuya geri getirmek durumundadır. Taşıtların vermiş olduğu bu tepki sürücünün panik yapmasına ve taşıtların kontrolünü kaybetmesine sebep olabilir. Bu etkileri minimuma düşürmek için tasarım sırasında sadece malzeme dirençleri değil, yapının tamamının maruz kaldığı eğilme açıları da dikkate alınmalıdır[17].

Ancak şu da unutulmamalıdır ki kamber açısındaki değişimi minimum seviyede tutacak şekilde tasarlandığında, kaster ve toe açısındaki değişim artabilir. Bu nedenle tasarım yapılırken, taşıtların kullanım amacı ve sınıfına göre hangi parametre daha önemliyse ona uygun bir yaklaşımla hareket edilmelidir [13].

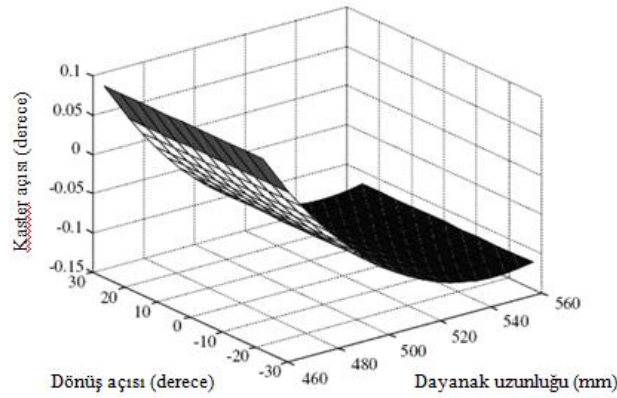


Şekil 7. Dönüş açısı ve dayanak uzunluğundaki değişime göre kamber açısının değişimi (Changes of camber angles for the length of strut and turning angle) [23]

Şekil 7.'de MacPherson tip ön süspansiyon modelinde, 0-30 derece arasındaki dönüş açıları, dayanak uzunluğunun 460 mm'den 560 mm'ye çıkartılması duru-

munda kamber açısının nasıl etkilendiği gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere dönüş açısında meydana gelen değişim kamber açısının değişimini artırmaktadır. Ayrıca dayanak uzunluğunun artması da yine kamber açısındaki değişimde artış meydana getirmektedir.

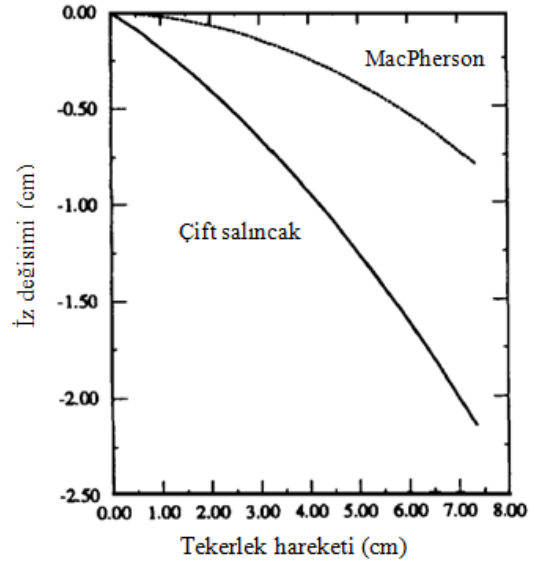
Şekil 8.'de MacPherson tip ön süspansiyon modelinde, 0-30 derece arasındaki dönüş açıları, dayanak uzunluğunun 460 mm'den 560 mm'ye çıkartılması durumunda kaster açısının nasıl etkilendiği gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü üzere dönüş açısında meydana gelen değişimin kaster açısı üzerinde bir etkisi bulunmamaktadır. Ancak dayanak uzunluğunun artması ise kaster açısını etkilemektedir. Dayanak uzunluğunun 460 mm'den 480 mm'ye kadar artışı kaster açısındaki değişimi azaltmıştır; fakat 480 mm'den 560 mm'ye kadar olan artışı ise kaster açısındaki değişimin negatif yönde artmasına sebep olmuştur.



Şekil 8. Tekerleğin dönüş açısı ve dayanak uzunluğuna göre kaster açısının değişimi (Changes of caster angles for the length of strut and turning angle) [23]

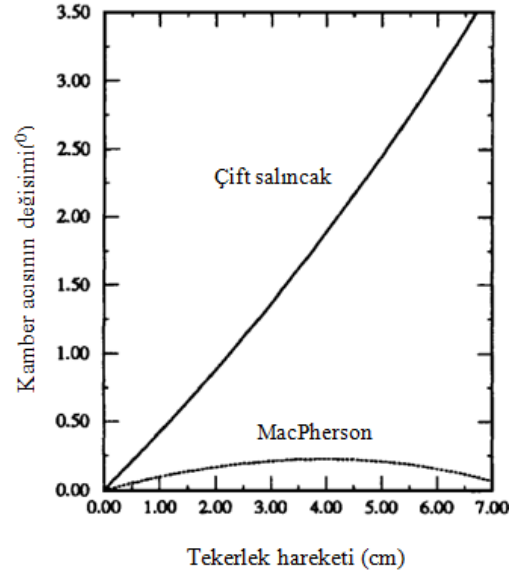
Çift salıncaklı süspansiyonda salıncakların birbirlerine göre olan durumları ile ani dönme merkezi arzu edilen her yüksekliğe getirilebilir. Salıncakların kamber açısı değişimi ile iz değişimine tesir edebilir. Farklı uzunluklardaki salıncaklar tekerleklerin yaylanmasında bir kamber açısı değişimine sebep olmakta ve araç gövdesinin devrilme eğilimi nedeniyle viraj dışındaki tekerlekteki pozitif kamber açısı değişimine karşı gelecek şekilde tesir etmektedir [11].

Şekil 9.'da tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasında meydana gelen iz değişimi gösterilmiştir. Şekilde tekerleğin yukarı yönlü hareketi arttıkça iz değişiminin de negatif yönde arttığı görülmektedir. Ancak MacPherson süspansiyon sistemine sahip modelin iz değişimi, çift salıncaklı süspansiyona sahip modelin ancak üçte biri kadardır.



Şekil 9. Tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasındaki iz değişimi (Track changing for the wheel vertical movement) [24]

Şekil 10.'da tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasında kamber açısında meydana gelen değişim gösterilmiştir. Şekilde tekerleğin yukarı yönlü hareketi arttıkça kamber açısında da değişim olduğu görülmektedir. Burada MacPherson süspansiyon sistemine sahip modelin kamber açısı değişimi sınırlı olurken, çift salıncaklı süspansiyona sahip modelde meydana gelen değişim sürekli artış göstermiştir. Şekilde de görüldüğü üzere MacPherson süspansiyona sahip modelin kamber açısı değişimi, çift salıncaklı süspansiyonun yaklaşık %8'i kadardır.



Şekil 10. Tekerleğin düşey ekseninde yukarı yönlü hareketi sırasındaki kamber açısının değişimi (Camber changing for the wheel vertical movement) [24]

Şekil 9. ve şekil 10.'da görülen iz değişimi ve kamber açısı değişimine bakarak MacPherson süspansiyonun çift salıncaklı süspansiyona göre daha iyi bir yol tutuşu ve sürüş kararlılığı performansı gösterdiğini söylemek doğru olmaz. Bu şekillerden, temel alınan modele MacPherson tip süspansiyonun daha uygun olduğu sonucuna varabiliriz. Ayrıca farklı süspansiyon modellerinin, aynı koşullar altında farklı tepkiler verdiği söyleyebiliriz. Bu da taşıtın yapısı, tipi, kullanım amacı ve taşıttan beklenen performansa göre en uygun süspansiyonu seçmenin ve taşıtı bu doğrultuda tasarlanmanın ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu durum sadece süspansiyon sistemi için değil ön düzen geometrisi ve direksiyon sistemi için de geçerlidir.

6. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada araç dinamik hareketi, güvenliği ve konforu ele alınarak tasarlanan ön düzen geometrisinin ve farklı süspansiyon sistemlerinin yapısal özellikleri incelenerek, ideal bir ön düzen ve süspansiyon sisteminin nasıl olması gerektiği ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Çift salıncaklı süspansiyon modeli konforlu bir sürüş için tasarlanmıştır. Hafiflik ve istenmeyen karşılıklı tekerlek etkisinin engellenmesi konusunda oldukça başarılı bir sistemdir. Aynı zamanda salıncakların farklı uzunlukta olması, tekerleklerin yukarı-aşağı hareketlerinin dengelenmesini ve tekerlek aşınmalarının azaltılmasını sağlamaktadır.

Çift salıncaklı süspansiyon sisteminde, tekerlek hareketinden bağımsız olarak, tekerlek ve yol yüzeyi arasındaki dik temas çok iyi bir şekilde korunur. Böylece tekerleğin yol yüzeyine temas alanının maksimum olması sağlanır. Bu da taşıtın yol tutuş performansını artırmaktadır. Çünkü, iyi bir yol tutuşu ve viraj performansı için tekerleklerdeki kamber açısı değişiminin minimum seviyede olması gerekir. Bunun için de tekerleklerin her türlü yol koşulunda ve tekerlek hareketinde yere maksimum seviyede temas etmesi diğer bir deyişle yol ile arasındaki dik pozisyonunu koruması gerekir. Çift salıncaklı süspansiyon bu açıdan bakıldığında, kamber açısı kontrolünde çok üstün bir performans göstermektedir. Kamber açısının kontrolü taşıt güvenliği açısından da önemli bir konudur. Ancak, maliyeti yüksek ve geniş bir montaj alanına ihtiyaç duyan bir sistemdir. Bu sebeplerden dolayı, yarış araçlarında, spor arabalarda ve üst sınıf sedan araçlarda tercih edilmekte olan bir süspansiyon modelidir.

MacPherson tip süspansiyon sistemi, sade yapısı, düşük maliyeti ve az yer kaplaması sebebiyle dünyada yaygın olarak kullanılmakta olan bir sistemdir. Dayanak dikey konumlandırılmıştır ve bu sebepten dolayı az yer kaplamaktadır. Az yer kaplaması, özellikle motoru ve şanzımanı ön tarafta konumlanmış önden çekişli küçük ve orta sınıf araçlarda tercih edilmesini sağlamaktadır. Parça sayısının az olması süspansiyon yüklerinin gövde üzerinde geniş bir alana yayılmasını sağlamaktadır. Ancak, bu basit tasarım çift salıncaklı süspansiyon modeli kadar iyi bir yol tutuşu sunamamaktadır. Bunun sebebi

ise, gövdedeki devrilme etkisi ve tekerlek hareketleri kamber açısında değişime neden olmaktadır. Bu da tekerleğin yol ile temasını azalttığı için yol tutuşu düşmektedir. Bu sebeple spor araçlarda tercih edilmemektedir. Ayrıca yüksek yapısı, yüksek bir çamurluk ve kaput hattı gereksinimi doğurmaktadır. Bu da spor otomobil tasarımlarında çok istenen bir durum değildir.

Çok kademeli süspansiyon modelinin ise, performans açısından diğer ikisinin arasında olduğu söylenebilir. MacPherson tip süspansiyon modeline göre daha iyi bir yol tutuşu sağlasa da, onun kadar sade ve maliyeti düşük değildir. Ancak çift salıncaklı süspansiyon modeli kadar üstün bir performans sunduğu da söylenemez. Günümüzde birçok spor otomobili ve yarış araçlarında hala çift salıncaklı süspansiyon modeli kullanılıyor olması da bunun bir göstergesidir. Ancak hem iyi bir yol tutuşu hem kapladığı alan açısından düşünüldüğünde iyi bir karışım sunmaktadır. Bu sebepten dolayı orta üst sınıf sedan araçlar için uygun bir modeldir.

Bu sonuçlardan yola çıkarak, ideal bir ön düzen geometrisinde ve süspansiyon sisteminde bulunması gereken özellikler;

- Taşıtın statik ağırlığını dengelemelidir,
- Yol darbelerini emerek, sürücü ve yolcular üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmalıdır,
- Direksiyon kontrolünü sürdürürken, şiddetli frenlemeden dolayı şase üzerinde meydana gelen büyük zorlanmaları azaltmalıdır,
- Direksiyon kontrolü ve tekerlek hizasının korunmasını sağlamalıdır
- Mümkün olduğunca az yer kaplamalıdır,
- Hafif olmalıdır,
- Bir tekerleğin hareketi diğer tekerleğin hareketini etkilememelidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Emekli, M.E., "Hafif ticari bir araç için yarı aktif süspansiyon sistemi tasarımı", *İstanbul Teknik Üniversitesi*, Türkiye, 1-133 (2008).
- [2] Rajamani, R., "Vehicle dynamics and control", *Springer*, New York, (2006).
- [3] Isermann, R., "Mechatronic systems fundamentals", *Springer*, New York, (2005).
- [4] Fenton, J., "Handbook of Automotive Powertrain and Chassis Design", *Professional Engineering Publishing*, London, 162 (1998).
- [5] Zhang, Z., Yu, J., "Design process of a double wishbone suspension", *SAE Technical Paper Series*, China, 1-9 (2008).
- [6] Eskandari, A., Mirzadeh, O., "Optimization of a McPherson suspension system using the design of experiments method", *SAE Technical Paper Series*, Michigan, 1-8 (2006).
- [7] Smith, J.H., "An introduction to modern vehicle design", *SAE International*, (2002).

- [8] Birch, T., "Automotive suspension and steering system", CENGAGE Delmar Learning; 3 edition, (1998).
- [9] Halderman, J. D., Mitchell, Jr. C. D., "Automotive Steering, Suspension and Alignment", *Prentice Hall, Upper Saddle River*, New Jersey, Columbus, Ohio, 152 (2004).
- [10] Crouse, W. H., Anglin, D.L., "Automotive Brakes, Suspension and Steering", *Macmillan/McGrawHill*, New York, 112-133 (1992).
- [11] Reimpell, J., Stoll, H., Betzler, J. W., "The Automotive Chassis, 2nd ed.", *Oxford: Butterworth Heinemann*, England, 1-85, 266-306 (2001).
- [12] Webster, J., "Automotive Suspension, Steering and Brakes", *California State University*, Long Beach, 41-68 (1987).
- [13] Habibi, H., Shirazi, K. H., Shishesaz, M., "Roll ster minimization of McPherson-strut suspension system using genetic algorithm method", *Mechanism and Machine Theory* **43**, Iran, 57-67 (2008).
- [14] Özdalyan, B., "Bilgisayar benzeşimi ile ön süspansiyon sisteminin kinematik analizi", *Teknoloji, sayı 3-4*, Zonguldak, 1-8 (2001).
- [15] Milliken, W. F., Milliken, D. L., "Race Car Vehicle Dynamics", *Society of Automotive Engineers, Inc.*, ABD, 632-635 (1995).
- [16] Demirsoy, M., "Motorlu Araçlar, Cilt 2, 3. Baskı", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 273-329 (2005).
- [17] Turini, J. R., Vannuci, S. N., "Design characteristics of McPherson Suspensions", *SAE Technical Paper Series*, Brasil, 1-6 (1997).
- [18] Colombo, D., Gobbi, M., Mastinu, G., Pennati, M., "Analysis of unusual McPherson suspension failure", *Elsevier*, Italy, 1000-1010 (2009).
- [19] İnternet : Wan, M., "AutoZine Technical School – Suspension", *Autozine.org*, http://www.autozine.org/technical_school/tech_index.html (2015).
- [20] Kim, S.P., Lee, J.K., Oh, Y.H., Lee, U.K., "The development of Multi-link suspension for Hyundai Genesis", *SAE Technical Paper Series*, Hyundai Motor Company, 1-6 (2009).
- [21] Lee, U.K., Ahn, B.E., "A method to analyze 'The imaginary kingpin axis' in Multi-link type suspension system", *SAE Technical Paper Series*, Hyundai Motor Company, 1-18 (1993).
- [22] Suh, C.H., "Suspension analysis with instant screw axis theory", *SAE Technical Paper Series*, University of Colorado, 1-9 (1991).
- [23] Mantaras, D. A., Luque, P., Vera, C., "Development and validation of three-dimensional kinematic model for the McPherson steering and suspension mechanisms", *Mechanism and Machine Theory*, Spain, 603-619 (2004).
- [24] Beard, J.E. Waggenspack, W.N., "Kinematic and dynamic comparisons of Double A-arm and MacPherson strut suspensions systems", *SAE Technical Paper Series*, Worldwide Passenger Car Conference and Exposition, Dearborn, Michigan, 1-8 (1993).