

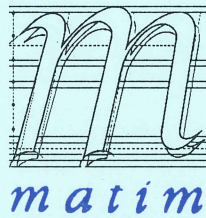
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 9

Sayı : 1

Mayıs 2007



Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Sahibi

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ODTÜ

Yayıncı Kurulu

Metin AKKÖK
Can ÇOĞUN
İlhan KONUKSEVEN (Sorumlu Yayın Yönetmeni)

ODTÜ
Gazi Ü
ODTÜ

Danışma Kurulu

M.A. Sahir ARIKAN
Tuna BALKAN
Erhan BUDAK
Serkan DAĞ
Melik DÖLEN
Hüseyin FİLİZ
Necdet GEREN
Mustafa İ. GÖKLER
Erk İNGER
Haydar LİVATYALI
Ferruh ÖZTÜRK
Levend PARNAS
O. Selçuk YAHŞI
Yiğit YAZICIOĞLU
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
ODTÜ
Sabancı Ü
ODTÜ
ODTÜ
Gaziantep Ü
Çukurova Ü
ODTÜ
BOREN
İTÜ
Uludağ Ü.
ODTÜ
ENVY A.Ş.
ODTÜ
ODTÜ

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
Makina Mühendisliği Bölümü, E Blok, No. 101
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

Tel : (312) 210 52 12, Faks : (312) 210 12 75

Web : <http://www.me.metu.edu.tr/matim>

e-mail : matim@metu.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 9 Sayı: 1 Mayıs 2007

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 9 No: 1 May. 2007

ISSN 1302-9487

TELİF HAKKI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde yayımlanan bütün yazıların telif hakkı MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERNEĞİ'nindir. Yayımlanmış yazıların başka bir yerde tekrar yayımlanması, çoğaltılması ve dağıtılması, Yayın Kurulundan yazılı izin almak koşulu ile mümkündür. Makalelerdeki görüşlerden doğacak sorumluluk makale yazarına aittir.

ABONE KOŞULLARI

Yıllık abone bedeli 2006 yılı içinde gerçek kişiler için 6 YTL, firma ve kuruluşlar için 30 YTL, öğrenciler için 3. YTL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresiniz ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

TANITIM KOŞULLARI

Kuruluş ve ürünlerini tanıtmak isteyenler hazırlayacakları tanıtım yazı ve resim taslaklarını Derneğimiz'e göndererek saptanacak bir katkı karşılığında Dergi'de yayımlanmasını sağlayabilirler.

BANKA HESAP NUMARASI

T. İş Bankası, ODTÜ Şubesi
Hesap No: 4229 0235339

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

Elektro Erozyon İle İşlemede İşleme Parametrelerinin
Matematiksel Modellenmesi 1

Tayfun Çağlar Deniz
Can Çoğun
Ali Özgedik

CNC İşleme Merkezi Seçimi İçin Bir Uzman
Sistemin Geliştirilmesi 6

Mustafa Yurdakul
Taner Doğramacı
Yusuf Tansel İç

Ankara Metro Trenlerinde Katı ve Sıvı Yağlanmanın
Tekerlek Aşınmasına Etkisinin Deneysel İncelenmesi 18

Sedat Özal
Can Çoğun

Yumuşak ve Sert Doku Malzeme Deney Sistemi için
Elektronik Veri Toplama Birimi Tasarım ve Uygulaması 30

Alaittin Elhan
İbrahim Tekdemir
Ayhan Cömert
Murat Bozkurt
Ergin Tönük
Gürol İpek

Yürüyüş Analizi Uygulamalarında Değişik Eklem
Merkezi Kestirim Yöntemlerinin Hesaplanan Eklem
Kinematiğine Etkisi 36

Pınar Kafalı
Ergin Tönük
Turgut Tümer

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE
BİLİMSEL ETKİNLİKLER 49

Sayın Okurlarımız,

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi 1986 yılından bu yana özgün araştırmaları yayımlayan hakemli bir dergi olarak süreklilik kazanmıştır. 2001 yılında dergimize ISBN (ISBN1302-9487) numarası verilmiş, TÜBİTAK tarafından ulusal veri tabanına alınmış ve dergi basım adedi artırılarak Türkiye’de daha yaygın dağıtımı sağlanmıştır.

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda katılımlarınızı beklemektedir. Ayrıca kitap tanıtımı, konu taraması ve sanayi kuruluşlarının etkinliklerini içeren yazılara da geçmişte olduğu gibi yer verilmektedir.

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızın katkı ve önerilerini bekleriz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Tayfun Çağlar Deniz
Araş. Gör.

Can Çoğun
Prof. Dr.

Ali Özgedik
Araş. Gör.

Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık
Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü,
06570 Maltepe, Ankara, Türkiye

Elektro Erozyon İle İşlemede İşleme Parametrelerinin Matematiksel Modellenmesi

Bu çalışmada Tepki Yüzeysel Metodu (TYM) (surface response methodology) kullanılarak, 1040 çeliğinin elektro erozyon ile işlenmesinde işparçası işleme hızı (İİH), yüzey pürüzlülüğü (R_a) ve elektrot aşınma hızı (EAH) gibi performans değerlerinin analizi ve matematiksel modellenmesi sunulmuştur. Deneysel verilere regresyon analizi uygulanarak birçok bağımsız girdi değişkenine bağlı matematiksel modeller oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Elektro erozyon ile İşleme (EEİ), Tepki Yüzeysel Metodolojisi (TYM), ANOVA

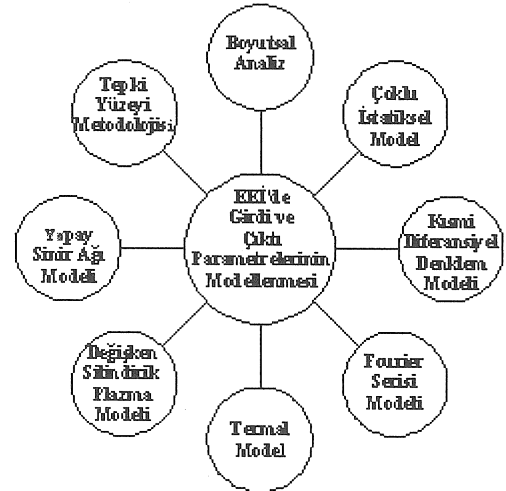
1. GİRİŞ

Elektro erozyon ile işleme (EEİ) yöntemi, genel olarak kalıp üretiminde kullanılan, alışılmamış imalat usullerinden birisidir. Geleneksel yöntemlerle işlenmesi zor olan çok sert malzemelerin ve karmaşık geometrik şekle sahip parçaların işlenebilmesinden dolayı endüstriyel uygulamalarda EEİ yönteminin kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. Yöntemde elektriksel iletken elektrot, kalıp boşluğunun işlenmesi için hazırlanır. Döküm, enjeksiyon, ekstrüzyon, dövme ve sıkıştırılmış toz kalıpları EEİ yöntemi kullanılarak işlenir. EEİ yönteminde boşalım akımı, vurum süresi, dielektrik sıvı cinsi ve püskürtme koşulları gibi birçok işleme performansını etkileyen işleme parametresi vardır.

Yüzey pürüzlülüğü (R_a), elektrot aşınma hızı (EAH) ve işparçası işleme hızı (İİH) gibi işleme performansı çıktı parametrelerini önceden belirlemek için literatürde çeşitli teknikler kullanılmıştır (Şekil 1.). Bu çalışmada, bağımlı değişkenler olan R_a, İİH ve EAH ile bağımsız değişkenler olan boşalım akımı (i_e), vurum süresi (t_i) ve işleme derinliği (h) arasındaki ilişkileri belirlemek üzere TYM modeli üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla, istatistiksel yazılım paketi olan MINITAB kullanılarak regresyon analizi yapılmıştır [1].

Endüstriyel uygulamalarda ikinci dereceden modeller oldukça yaygındır. Eğer deneylerde etken limitler uygun bir şekilde belirlenmişse ve/veya çoklu regresyon analizinde girdi ve çıktılar arasında bir dönüşüm mevcutsa bu durumda daha yüksek dereceden bir modele gerek yoktur. Bu çalışmada matematiksel modeli geliştirmenin amacı işleme

parametreleri ile performans çıktı değişkenleri arasında bağıntı kurulması ve yapılan deney koşullarında işleme parametrelerinin optimize edilmesini sağlamaktır.



Şekil 1. EEİ'de girdi ve çıktı parametrelerini modelleme metodları

İkinci dereceden matematiksel model genel olarak;

$$y = b_0 + b_1i_e + b_2t_i + b_3h + b_{12}i_e t_i + b_{13}i_e h + b_{23}t_i h + b_{11}i_e^2 + b_{22}t_i^2 + b_{33}h^2 \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir.

Burada y performans çıktısı, b_0, b_1, \dots, b_{33} katsayılar, i_e boşalım akımı, t_i vurum süresi, h işleme derinliği (i_e, t_i ve h ana etkenler olarak adlandırılır), i_e^2, t_i^2, h^2 ikincil etkenler ve $i_e t_i, t_i h$ ve $i_e h$ etkileşim etkenleridir.

2. TEPKİ YÜZEYİ METODOLOJİSİ

Tepki yüzeyi metodolojisi, deneysel veriler sonucunda işlem girdileri ile çıktılar (sonuçlar) arasında ilişki kurarak matematiksel bir model oluşturma yöntemidir. Bu yöntem çıktıları optimize etmeye yarayan matematiksel ve istatistiksel işlemlerin birleşimidir. Bu çalışmada deney sırasında kullanılan işleme parametreleri ve deney sonucunda elde edilen performans çıktı değerleri sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir. Deneysel yöntem ve bulunan sonuçlar üzerinde yapılan detaylı analizler daha önce yayımlanmıştır [3].

2.1. R_a 'nın i_e, t_i, h ile değişimi

Katsayı analizinde $i_e t_i$ teriminin katsayısı çok küçük olduğundan belirlenememiştir. Bu nedenle bu terim matematiksel modelden çıkarılmıştır. Analiz gerçek (uncoded) değerlerle yapılmıştır. R_a için oluşturulan ikinci derece denklem;

$$R_a = -0.600 + 0.323 i_e + 0.040 t_i + 0.269 h + 0.009 i_e^2 - 0.00008 t_i^2 + 0.082 h^2 - 0.083 i_e h - 0.004 t_i h \quad (2)$$

şekindedir.

Tablo 1 EEI'de işlem parametreleri

Elektrot malzemesi	elektrolitik bakır
Numune malzemesi	1040 çeliği
Yalıtkan sıvı cinsi	gaz yağı
Alışkan Basıncı	0,50 Bar

2.2. EAH'nın i_e, t_i, h ile değişimi

Katsayı analizinde $i_e t_i$ teriminin katsayısı çok küçük olduğundan belirlenememiştir. EAH için oluşturulan ikinci derece denklem;

$$EAH = -57.2325 + 0.8123 i_e + 1.2471 t_i + 6.1841 h + 0.0247 i_e^2 - 0.0033 t_i^2 - 0.2545 h^2 + 0.1753 i_e h - 0.1077 t_i h \quad (3)$$

şekindedir.

Tablo 2. Tasarım planı ve deneysel sonuçlar

Deney No.	i_e (A)	t_i (μ s)	h (mm)	R_a (μ m)	EAH (mm^3/dk)	$\dot{I}H$ (mm^3/dk)
1	3	50	0,85	2,20	0,10	0.56
2	3	50	1,13	2,20	0,04	0.60
3	6	50	6,38	4,27	1,55	4.05
4	6	50	6,40	4,27	1,55	4.06
5	12	12	6,22	3,51	3,54	4.25
6	12	12	6,26	3,51	3,37	3.94
7	12	25	6,70	3,85	9,46	14.06
8	12	25	6,83	3,85	5,88	9.42
9	12	50	6,48	4,04	8,42	18.03
10	12	50	6,35	4,04	9,15	18.20
11	12	100	6,29	4,34	8,07	22.01
12	12	100	6,50	4,34	8,10	20.94
13	25	50	6,65	5,59	34,13	55.80

2.3. İİH'nın i_e , t_i , h ile değişimi

Katsayı analizinde $i_e t_i$ teriminin katsayısı çok küçük olduğundan belirlenememiştir. İİH için oluşturulan ikinci derece denklem;

$$\begin{aligned} \text{İİH} = & -22.2195 - 0.9432 i_e + 0.5693 t_i + 2.4458 h + \\ & 0.0325 i_e^2 - 0.0016 t_i^2 - 0.1011 h^2 + 0.2482 i_e h - \\ & 0.0538 t_i h \end{aligned} \quad (4)$$

şeklinde dir.

3. SONUÇLARIN İSTATİKSEL ANALİZİ

Bu çalışmada, elde edilen sonuçların doğruluğunu belirlemek için regresyon modelinin ve modeldeki katsayıların doğruluğunu belirleyen testler uygulanmıştır. Ayrıca işlem parametrelerini incelemek ve bu parametrelerin çıktı parametrelerine katkısı istatistiksel olarak belirlemek için değişim analizi (analysis of variance-ANOVA) ve F testi uygulanmıştır [4].

Türetilen deklemlerin (denklem 2-4) yeterliliği ve uygunluğu, F testi uygulanarak belirlenmiştir. Determinasyon katsayısı olarak isimlendirilen R^2 terimi, bağımsız değişkenlerden türetilen bağımlı değişkendeki değişim oranıdır. Tüm model için

hesaplanan R^2 (0.90) değeri, Denklem 2-4'deki i_e , t_i ve h değişkenlerinden belirlenebilen R_a , EAH ve İİH'ndaki değişimin %90 olduğunu ifade etmektedir. Hesaplanan determinasyon katsayısının (R) 0.95 olması bağımlı değişkenlerle bağımsız değişkenler arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu ifade etmektedir.

Ortalama karesel hata olarak da isimlendirilen tahminin standart hatası hata teriminin standart sapması ve ortalama kare farkının kareköküdür. Bu çalışmada, olasılık değeri olan p değeri anlamlılık seviye testi ile incelenmiştir. Türetilen regresyon modelinin ANOVA analizi sonucunda p değerinin 0.0000 olması bu değer p<0.0001 olduğunu ifade eder. Bu p değeri 0.01 den küçük oldukça istatistiksel olarak ölçülen ve hesaplanan çıktı değerleri arasında 99% güvenilirlikte bir ilişki olduğu ve modelin istatistiksel olarak geçerli olduğu anlaşılmaktadır [5].

F değerinin büyük olması (Ek A) işlem değişkeninin, performans çıktıları üzerinde etkisinin büyük olduğu anlamına gelmektedir [6]. R_a , EAH ve İİH değerleri için ANOVA sonuçları sırasıyla Tablo 3, 4 ve 5'te sunulmuştur. Bu tablolardan da görüldüğü üzere R_a , EAH ve İİH modellerindeki terimlerden en büyük etkiyi ikincil terimler yapmaktadır.

Tablo 3 R_a için ANOVA Testi

Kaynak	Serbestlik Derecesi (f)	Karelerinin Toplamı (SS)	Ortalama Kareler (MS)	F Oranı	P Değeri
Regresyon	8	9.60770	1.200962	4067.04	0.000
Doğrusal	3	8.44960	0.005181	17.54	0.009
İkincil	3	1.14247	0.289534	980.50	0.000
Etkileşim	2	0.01563	0.007814	26.46	0.005
Residual Hata	4	0.00118	0.000295		
Toplam	12	9.60888			

S = 0.01718 R-Sq = 100.0% R-Sq (düzeltilmiş) = 100.0%. Modelin çoklu regresyon katsayısı olan R^2 , R_a 'daki varyasyonu %100 sağlayabilmektedir. Böylece modelin işlemi simgelemek için yeterli olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4 EAH için ANOVA Testi

Kaynak	Serbestlik Derecesi (f)	Karelerinin Toplamı (SS)	Ortalama Kareler (MS)	F Oranı	P Değeri
Regresyon	8	923.924	115.4905	53.78	0.001
Doğrusal	3	850.486	2.5202	1.17	0.424
İkincil	3	72.736	13.4300	6.25	0.044
Etkileşim	2	0.702	0.3510	0.16	0.855
Residual Hata	4	8.590	2.1474		
Toplam	12	932.513			

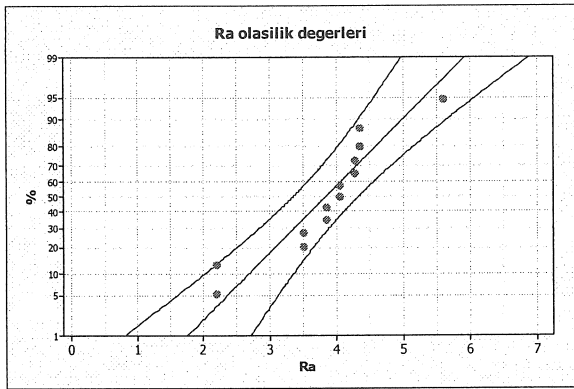
S = 1.465 R-Sq = 99.1% R-Sq (düzeltilmiş) = 97.2%. Modelin çoklu regresyon katsayısı olan R^2 , R_a 'daki varyasyonu %99.1 sağlayabilmektedir. Böylece modelin işlemi simgelemek için yeterli olduğu anlaşılmıştır.

Table 5 İİH için ANOVA Testi

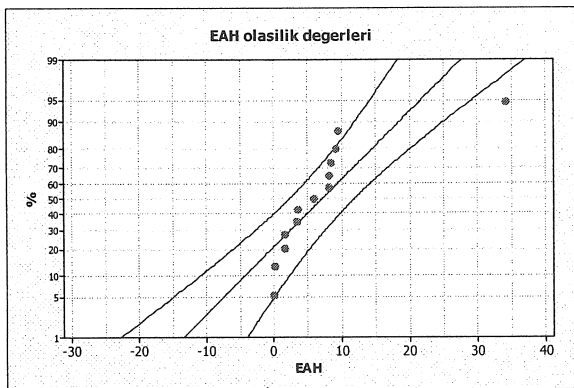
Kaynak	Serbestlik Derecesi (f)	Karelerinin Toplamı (SS)	Ortalama Kareler (MS)	F Oranı	P Değeri
Regresyon	8	2653.19	331.6487	104.81	0.000
Doğrusal	3	2502.42	5.8371	1.84	0.279
İkincil	3	148.86	32.2940	10.21	0.024
Etkileşim	2	1.90	0.9502	0.30	0.756
Residual Hata	4	12.66	3.1643		
Toplam	12	2665.85			

$S = 1.779$ $R-Sq = 99.5\%$ $R-Sq$ (düzeltmiş) = 98.6%. Modelin çoklu regresyon katsayısı olan R^2 , R_a 'daki varyasyonu %99.5 sağlayabilmektedir. Böylece modelin işlemi simgelemek için yeterli olduğu anlaşılmıştır.

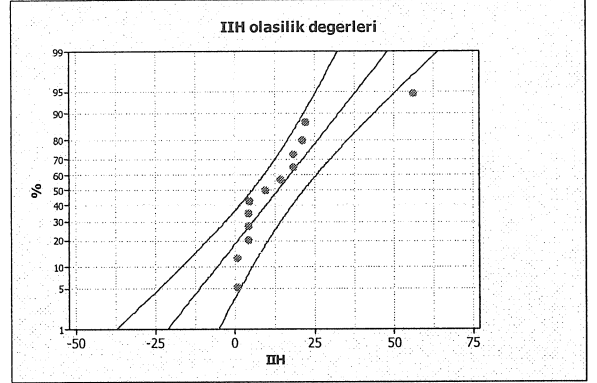
Şekil 3-5'den elde edilen modeller için neredeyse bütün deneysel noktaların yaklaşık %95 güvenlik aralığında olduğu ve p değerinin 0.05'den küçük olduğu anlaşılmaktadır..

Şekil 3. R_a performans çıktıları için olasılık değerleri

Bu çalışmada, regresyon analizindeki verilerin uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla S , R^2 ve R^2 (düzeltmiş) değerleri her bir çıktı değeri için belirlenmiştir.

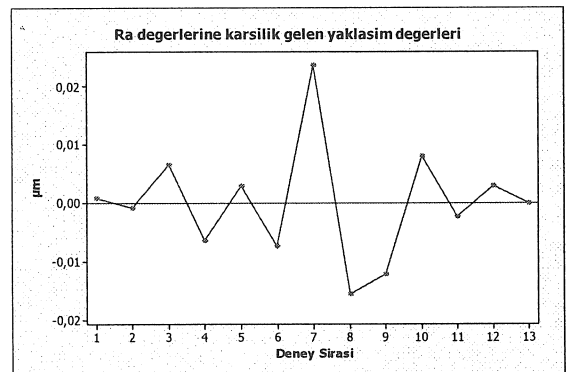


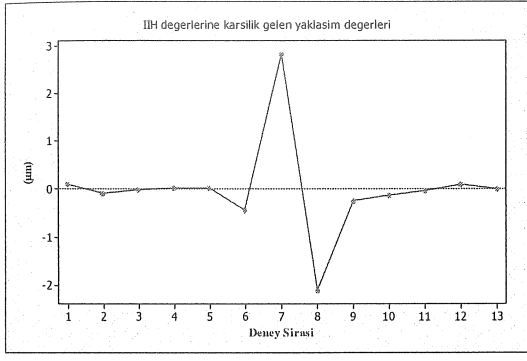
Şekil 4. EAH performans çıktıları için olasılık değerleri



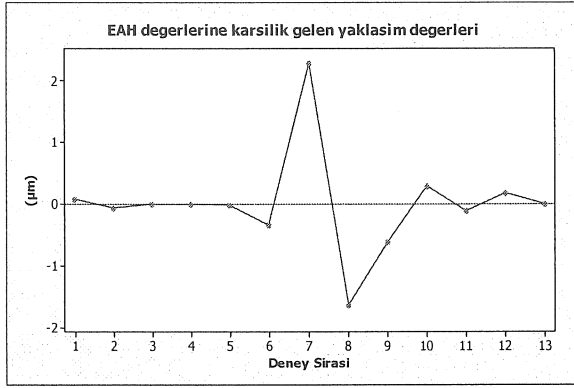
Şekil 5. İİH performans çıktıları için olasılık değerleri

Şekil 6-8'de merkez çizgileri sırasıyla R_a , EAH ve İİH için deneysel sonuçları göstermektedir. Modellerin deneysel sonuçlardan sapmaları 13 deney için şekil 6-8 de görülmektedir. Ayrıca, şekillerden deneysel ve model çıktıları arasındaki farkların (sapmaların) önemsiz olduğu anlaşılmaktadır. R_a , EAH ve İİH değerleri için sapmalar sırasıyla 0.02-(-0.02) μm , 2-(-2) mm^3/dk and 3-(-2) mm^3/dk 'dır.

Şekil 6. R_a için sapma değerleri



Şekil 7. EAH için sapma değerleri



Şekil 8. İİH için sapma değerleri

4. GİRDİ PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

EEİ'de maksimum İİH ve minimum R_a ve EAH optimum işleme koşullarının göstergesidir. Denklem 2-4'ü kullanarak tepki optimizasyonu tekniğiyle deneylerdeki işleme aralığındaki optimum EEİ girdi işleme parametreleri $i_e=3$ A, $t_i=56.73$ μ s ve $h=0.86$ mm olarak elde edilmiştir. Bu değerler denklem 2-4'de yerine koyulduğunda $R_a=2.39$ μ m, EAH=2.41 mm³/dk ve İİH=5.89 mm³/dk olarak bulunur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, deneysel veriler kullanılarak R_a , EAH ve İİH için geliştirilen matematiksel modellerin doğruluğu TYM'ne bağlı olarak belirlenmiştir. Türetilen modellerin yeterliliği ve geçerliliği ANOVA ve F testi uygulanarak kontrol edilmiştir. Geliştirilen matematiksel modeller, verilen girdi parametreleri aralığında deney yapmadan R_a , EAH ve İİH'nı tahmini olarak belirlemede kullanılabilir. Bu çalışmada, TYM yöntemiyle elde edilen modeller kullanılarak minimum R_a ve EAH ile maksimum İİH'nı verecek işleme parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Ek A

$$SS_m = \frac{(\sum \eta_i)^2}{n}, \quad SS_A = \frac{\sum \eta_A^2}{N} - SS_m,$$

$$SS_T = \sum \eta_i^2 - SS_m, \quad SS_e = SS_T - \sum SS_A,$$

$$V_A = \frac{SS_A}{f_A}, \quad F_{A_0} = \frac{V_A}{V_e}$$

Burada SS_T , toplam değişimdeki karelerin toplamı, SS_m , karelerin ortalaması, SS_A ($A=i_e, t_i, h$) faktörünün karelerinin toplamı, SS_e hata miktarlarının karelerinin toplamı, η_A faktörün i 'nci seviyede toplamı, N faktör A 'nın her seviye için tekrarlanma sayısı, f_A , A faktörünün serbestlik derecesi, V_A faktör A ve F_{A_0} 'ın F testi sonucundaki varyansdır.

MODELLING OF THE MACHINING PARAMETERS IN ELECTRIC DISCHARGE MACHINING

This paper presents a systematic methodology for modeling and analysis of the surface roughness (R_a), material removal rate (MMR) and tool wear rate (TWR) of 1040 steel in the electric discharge machining process using the response surface methodology (RSM). Using design of experiments methodology and applying regression analysis, the desiring response to several independent input variables are modelled.

Key Words : Electro discharge machining (EDM), surface response methodology (RSM), ANOVA

KAYNAKÇA

1. D. C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments, 5th ed., Wiley, New York, 2001.
2. N. M. Abbas, A review of current research trends in electric discharge machining (EDM), International Journal of Machine Tools & Manufacture 47, (2007), 1214-1228.
3. A. Ozgedik and C. Çoğun, An experimental investigation of tool wear in electric discharge machining, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 27, 5-6, (2006), 488-500.
4. S. Gangopadhyay, B.R. Sarkar and B. Bhattacharyya, Modelling and Analysis of EDMed job surface integrity, Journal of Materials Processing Technology 189, (2007), 169-177.
5. H. T. Lee and T. Y. Tai, Relationship between EDM parameters and surface crack formation, J. Mater. Process. Technol., 142, (2003), 676-68

CNC İşleme Merkezi Seçimi için Bir Uzman Sistemin Geliştirilmesi

Mustafa Yurdakul

Doç.Dr,

Makina Mühendisliği Bölümü, Gazi
Üniversitesi, Ankara.

Taner Doğramacı

Mak. Yük. Müh., Hema Endüstri
A.Ş., Çerkezköy, Tekirdağ.

Yusuf Tansel İ

Dr.

T.C. Ziraat Bankası A.Ş., Ankara.

Globalleşen iş dünyası, rekabete dayalı ekonomi, bilgisayar, elektronik ve mekanik teknolojilerindeki gelişmeler, mamüllerin teknolojik ömürlerini kısa sürede bitirmeleri, mevcut takım tezgahlarının işleme ve zaman bakımından yetersiz kalmaları, dünyanın hızlı teknoloji gelişimini sürdürdüğü günümüzde firmaları yeni CNC işleme merkezleri kullanmaya zorlamaktadır. Firmaların imalat hattında kullanılacak bir işleme merkezi seçmeleri, tezgahta işlenecek parçalarının ve tezgahın bir çok özelliğinin aynı anda düşünülerek varılması gereken zorlu bir karar alma problemidir. Bu çalışmada, pratik uygulamalar dikkate alınarak işleme merkezi seçimi yapacak olan kullanıcıya yardımcı olacak bir uzman sistem geliştirilmiştir. Sorulan sorulara kullanıcının verdiği cevaplara göre veri tabanında bulunan işleme merkezleri arasından uygun olanlar seçilmektedir. Seçilenlerin özelliklerinin 4 farklı durum için ağırlıklandırılması ve birbirleriyle karşılaştırılması sonucu oluşan puanlara göre işleme merkezleri en iyiden kötüye doğru sıralanarak en uygun işleme merkezi belirlenmektedir.

Anahtar Kelimeler : İşleme merkezleri, Uzman sistemler, Ağırlıklandırılmış Toplam Karar Modeli.

1. GİRİŞ

1970'li yılların başlarında gelişim gösteren işleme merkezleri; frezeleme, delme, delik işleme, kılavuz çekme, bornişleme ve raybalama gibi birçok işlemleri gerçekleştiren sayısal kontrollü tezgahlardır. İşleme merkezlerinin sahip olduğu bu esneklik verimin artmasını sağladığı gibi, bir tezgahın bir çok tek amaçlı tezgahın yerine geçmesini sağlar. Bir bağlamada kaba talaştan ince talaş almaya kadar birçok işlemi gerçekleştirerek önemli miktarda verim artışı sağlayabilmek, işleme merkezlerine olan ilgiyi artırmaktadır [1-3].

Günümüzde proses ihtiyaçlarına ve karar vericinin tercihlerine göre verimlilik, esneklik ve hassasiyet gibi önemli kriterler arasında bir denge kurarak en iyi işleme merkezini seçmek imalat firmaları için önemli bir karar verme sürecidir.

Dünyada çok sayıda işleme merkezi üreticisinin olması ve hepsinin değişik tiplerde işleme merkezleri üretmeleri uygun bir seçim yapmayı zorlaştırmaktadır. Belli bir uygulama için en iyi işleme merkezinin seçimi birçok imalat sektöründe zaman harcanılması gereken bir süreçtir ve uzmanlık gerektirmektedir. Uzman görüşünü yansıtan, imalat sistemi ihtiyaçlarına cevap verebilecek nitelikte, seçim problemini tüm unsurlarıyla değerlendirebilen sistemlerin geliştirilmesi bu ihtiyaca cevap verebilecek ve işleme merkezi seçim kararlarının alınmasında önemli katkılar sağlayabilecektir.

Böyle bir katkının gerçekleştirilmesine yönelik olarak çalışmada; teknolojik, ekonomik ve stratejik kriterlerle beraber imalat sistemi özelliklerinden kaynaklanan pratik uygulama esaslarını da değerlendirmeye alan bir uzman sistem geliştirmek hedeflenmiştir. Geliştirilen uzman sistemin detayları ilerleyen bölümlerde açıklanmıştır.

2. İŞLEME MERKEZLERİNİN SEÇİMİ

Literatürde takım tezgahlarının seçimine yönelik olarak yapılan çalışmalardan bir tanesi Arslan [4] tarafından hazırlanan yüksek lisans tezidir. Arslan'ın yüksek lisans tezinin temeli, karar verme yöntemi olarak Analitik Hiyerarşi Süreci-AHS metodunu kullanan ve veri tabanından ihtiyaçlar doğrultusunda en uygun işleme merkezlerinin seçimini sağlayan bir veri tabanı algoritmasının yönetimine dayanmaktadır.

Uzman sistemle işleme merkezi seçimine yönelik diğer bir çalışma Gopalakrishnan ve diğerleri tarafından gerçekleştirilmiştir [5]. Çalışma Visual Basic diliyle yazılmış bir veri tabanı sorgulama sistemiyle oluşturulmuştur. Yine uzman sistem yaklaşımını içeren diğer bir çalışma Layek ve Lars tarafından geliştirilmiştir [6]. Çalışmada imalat veya montaj hatlarında kullanılacak "robot" veya "işleme merkezi ve robot birlikte" seçebilen, aynı zamanda optimizasyon işlemi de yapabilen bir karar destek sistemi geliştirilmiştir.

Literatürde karşılaşılan diğer işleme merkezi seçim çalışmalarına Lin ve Yang [7], Oeltjenbruns

ve diğerleri [8] tarafından gerçekleştirilen çalışmalar örnek olarak verilebilir. Bu çalışmalar AHS yöntemini kullanarak belirlenen kriterler doğrultusunda alternatif bir kaç tezgah arasından işe uygun tezgahın belirlenmesini kapsamaktadır. Ayrıca Çimren ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada [9] AHS yöntemi tabanlı, takım tezgahı seçimine yönelik bir Karar Destek Sistemi (KDS) ortaya konmaktadır. Çalışmada esas itibarıyla maliyet, hassasiyet, güvenilirlik ve tamlık-doğruluk özelliklerinin analiz edilmesi ile doğru seçimin gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir.

Bunlara ilave olarak Yurdakul [10], imalat stratejileri ile alternatif işleme merkezlerinin özellikleri arasında ilişki kurarak seçim gerçekleştiren ve AHS yöntemini kullanan bir çalışma ortaya koymuştur. Çalışmada işleme merkezi seçimi stratejik bir yaklaşımla değerlendirilmiştir.

Diğer taraftan Sun [11], Veri Zarflama Analizi yöntemini (VZA) kullanarak CNC tezgahların seçiminin gerçekleştirildiği bir çalışma sunmuştur. Çalışmada ayrıca takım tezgahı üretici firmaların derecelendirilmesi ve seçim işlemine dahil edilmesine de yer verilmiştir. Davedzic ve Pap [12] ise takım tezgahı seçimine yönelik olarak tezgah rijitliğini ön plana çıkaran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada alternatifler arasından en rijit CNC torna tezgahı belirlenmektedir ve bulanık mantık uygulaması ile seçim prosedürü oluşturulmuştur.

Ayrıca literatürde Atmani ve Lashkari [13], Tabucanon ve diğerleri [14], Wang ve diğerleri [15] tarafından Esnek İmalat Sistemleri (EİS) için takım tezgahı seçimine yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmalar da bulunmaktadır. Bu çalışmalarda takım tezgahları ekonomiklik unsuru açısından değerlendirilmektedir.

Yukarıda sıralanan işleme merkezi veya takım tezgahı seçim çalışmaları metodolojik açıdan literature önemli katkılar sağlayan çalışmalardır. Bu çalışmalar tezgahların katalog bilgilerini kullanarak seçim gerçekleştiren, pratik uygulamalardan kaynaklanan faktörleri yeterince değerlendirmeyen çalışmalardır. Pratik uygulamalar ile tezgah karakteristiklerinin bütünleştirildiği bir uzman sistem seçim işleminin doğruluğunu artıracaktır. Böylelikle, imalat sisteminin ihtiyaçlarını da karşılayabilecek bir seçim gerçekleştirilebilir. Ayrıca bir işleme merkezi seçim modeli, tezgahın uzun süreli kullanımlarda hassasiyetini ve kalitesini koruyabilme özelliklerini de irdeleyici bir yapıda olmalıdır. Yukarıda

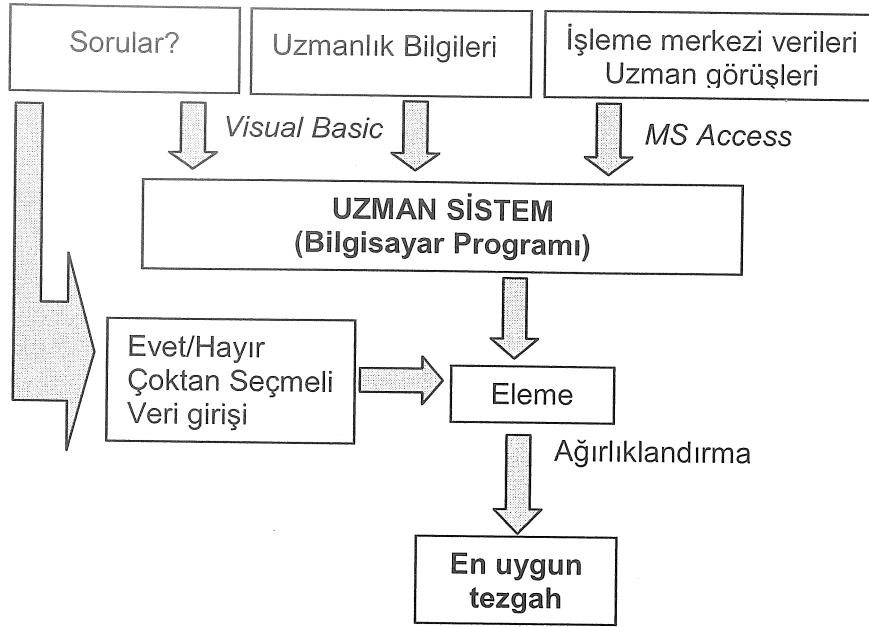
bahsedilen bu konular dikkate alınarak çalışmada bir işleme merkezi seçimi uzman sistemi geliştirilmiştir.

3. İŞLEME MERKEZİ SEÇİMİ İÇİN GELİŞTİRİLEN UZMAN SİSTEM

Çalışmada geliştirilen uzman sistem programı üniversal işleme merkezlerini içermeyip sadece dikey ve yatay işleme merkezlerini kapsamaktadır. Uzman sistem esnek bir yapıda, her türlü imalatçı firmanın kolayca kullanabileceği şekilde hazırlanmıştır ve Visual Basic 6.0 ile yazılmıştır. Tezgahla ilgili veriler MS Access 97 veritabanı programında hazırlanmıştır. Veritabanı 9 işleme merkezi markasının toplam 153 tane işleme merkezinin verilerinden oluşturulmuştur. Her işleme merkezi ile ilgili 52 veri tipi mevcuttur.

Programda seçim işlemi iki aşamada gerçekleştirilmektedir. İlk önce kullanıcıya 14 soru sorulmaktadır. Bu sorulardan alınan cevaplara göre veritabanı taranarak işe uygun işleme merkezleri belirlenmektedir. İkinci aşamada 4 kullanım durumuna göre çok özellikli karar verme yöntemlerinden biri olan "ağırlıklandırılmış toplam karar modeli" ile işleme merkezi seçimi gerçekleştirilmektedir. (Şekil 1).

Program açıldığında ilk olarak ekrana sorular kısmı gelir. 1. soru ile işleme merkezi tipi belirlenmektedir (Şekil 2). 1-4. sorulara ilişkin akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir. 2. soruda iş parçası boyutları girildiğinde, X, Y, Z stroklarının parçanın boyutlarından büyük olmasına bakılmaktadır. 3. soruda iş parçasının ve bağlama aparatlar/tertibatın ağırlığı sorgulanmaktadır. Bu değer tablanın taşıyabileceği ağırlıkla karşılaştırılır. İşleme merkezinin tabla ağırlık kapasitesi girilen değerden büyük olmalıdır. 4. soruda iş parçasının malzemesi ve sertliğine göre talaş kaldırma tipi işaretlenir. Sert malzemelerin işlenmesinde genelde daha güçlü işleme merkezlerine gerek duyulmaktadır. Yumuşak malzemelerin işlenmesinde ise güçlü işleme merkezlerine ihtiyaç duyulmamaktadır. İş mili devir sayısı, düşük hızlardaki tork ve yüksek hızlardaki güç gibi işleme merkezi için temel gereksinimler işlenecek malzeme tarafından belirlenmektedir. Örneğin yumuşak malzemelerin finiş işleminde yüksek iş mili hızı gerekirken, sert malzemelerde yanal kuvvetlerin etkisini azaltmak için rijitliğin olduğu kadar düşük hızlarda yüksek torka ihtiyaç duyulmaktadır.



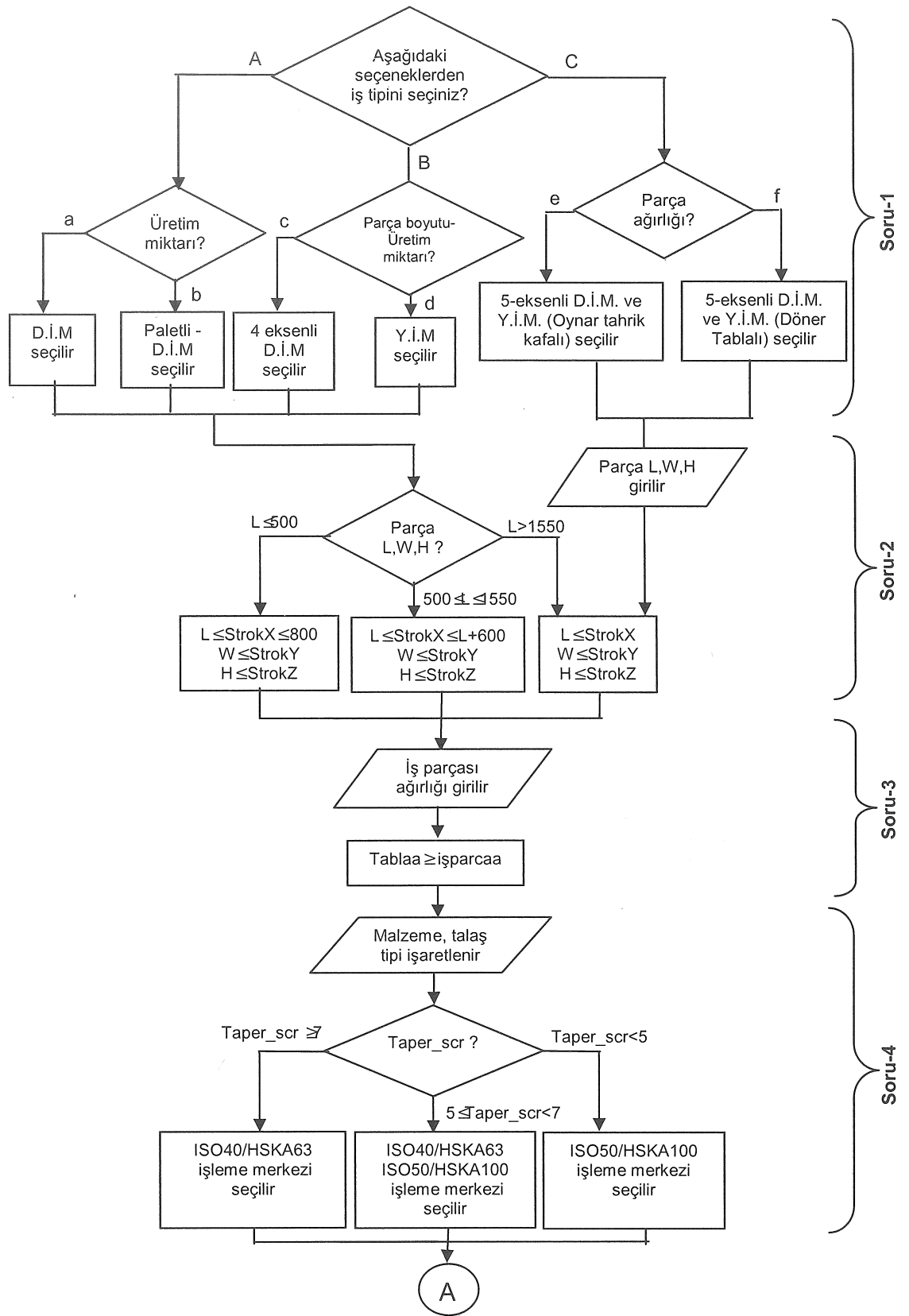
Şekil 1. Uzman sistemin yapısı

Şekil 2. Birinci soru ekranı

Soru ekranındaki tablodan iş parçası malzemesi ve sertliği ile talaş kaldırma tipine karşılık gelen onay kutuları işaretlenir. Çok sayıda işaretleme yapılabilmektedir. Burada her onay kutusunun bir puanı vardır ancak kullanıcı verilen puanlamayı görmemektedir (Ek-1). Toplam puan, işaret sayısına bölünür ve taper_scr(koniklik skoru) elde edilir. Bu puana göre iş mili konikliğinin ISO40 veya HSKA63

mü yoksa ISO50 veya HSKA100 mü olacağı belirlenmektedir (Çizelge 1).

Ayrıca taper_scr'ye göre ikinci aşamada iş mili gücü, iş mili torku ve iş mili hızının ağırlığı belirlenmektedir. (Örneğin; tezgahta alüminyum bir malzemenin kaba/yarı/ince işlemesi yapılacaksa; $(9+10+10)/3=9.7$ elde edilir ve #40 seçilir. Bu malzemeye göre iş mili hızının, torktan daha önemli olduğu anlaşılmaktadır).



Şekil 3. 1- 4. soruların akış şeması

Çizelge 1. İş mili konikliği puanı

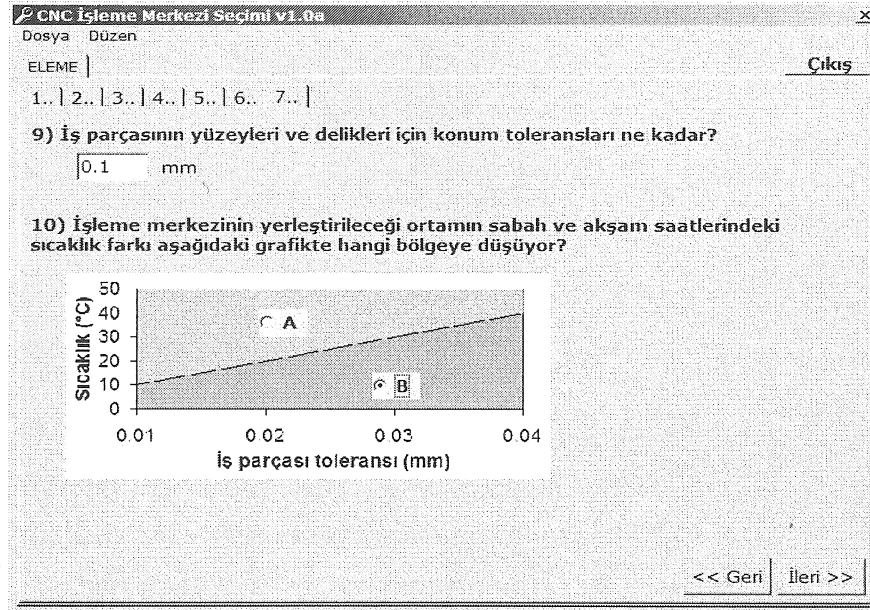
taper_scr	Koniklik
≥	ISO40 veya HSK63
≥ ve <7	ISO40-HSK63 veya ISO50-HSK100
<5	ISO50 veya HSK100

5. soruda işleme merkezinin minimum takım magazini kapasitesi belirlenmektedir. Takım magazini kapasitesi, parçanın kompleksliği ve tezgahta işlenecek parça sayısı arttıkça artmaktadır. Parçadaki farklı çaplarda deliklerin olması, konik/silindirik havşa açma, raybalama, bornişleme, kaba/orta/ince/hassas işlemler vb. parça işlenirken magazinde hazır bulunması gereken takım sayısını arttıran unsurlardır.

6-8. sorularda iş parçasını işlemede kullanılacak takımların ebatları ile ilgili sorular bulunmaktadır. Tezgahın ilgili parametreleri girilen değerlerden büyük olmalıdır. 9. soruda iş parçasının konum toleransları sorgulanmaktadır. Burada işleme merkezinin pozisyonlama toleransı parçanın konum toleransının onda birinden küçük olan işleme

merkezleri seçilmektedir (Şekil 4). 10. soruda "A" seçilirse tezgahta lineer cetvel olanlar veya opsiyonlu olanlar seçilmektedir. Çünkü sıcaklık değişimi parçanın hassasiyetini önemli derecede etkilemektedir. "B" seçilirse genel tarama yapılmaktadır (Şekil 4).

11. soruda "Evet" seçilirse iş mili içinden soğutma suyu püskürtmeli olan veya opsiyonu olan tezgahlar seçilmektedir (Şekil 5). Delik delme işlemi sırasında soğutma suyunun basıncı ile talaşlar daha kolay atılarak yüzey kalitesi artmakta ve takım ömrü uzamaktadır. 12. soruda "Evet" seçilirse 13. soru aktif hale gelmektedir. Burada "C" seçilirse takım ölçme (probing) sistemine sahip işleme merkezleri seçilmektedir. "D" seçilirse genel tarama yapılmaktadır. Takım boyu çok uzun olduğunda kırılma ihtimali olduğundan delik delme işleminden sonra takım boyunun kontrol edilmesi gerekmektedir. Eğer kırıldıysa magazinden yedeği çağırılarak delme işlemi yeniden yapılır. 11. soruda hayır seçilirse genel tarama yapılmaktadır. 14. soruda evet seçilirse talaş konveyörüne sahip veya opsiyonlu işleme merkezleri seçilmektedir. Hayır seçilirse genel tarama yapılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 4. 9 ve 10. soru ekranı

CNC İşleme Merkezi Seçimi v1.0a

Dosya Düzen

ELEME |

1.. | 2.. | 3.. | 4.. | 5.. | 6.. | 7.. | 8.. |

11) İş parçasında delik delme işlemleri var mı? Evet Hayır

12) Çapı Ø5mm'den küçük delik var mı? Evet Hayır

13) Takım boyu ile delik çapı arasındaki ilişki nasıl?

14) Tezgah bir vadiyanın %60'ından fazla bir sürede çalışacak mı?

Evet Hayır

<< Geri

**GÜÇ-HIZ
HESABI
YAP**

Şekil 5. 11-13. soru ekranı

Programda, “Güç/Hız hesabı yap” düğmesi ile (Şekil 5) gerekli iş mili motor gücü ve iş mili hızı hesabı için hesaplama ekranına geçilmektedir. Burada “malzeme tablosu” düğmesine basılarak çeşitli kesici takım kataloglarından derlenen işlenecek malzemeye göre kesme hızı ve diş başına ilerleme miktarı tablosu ekrana getirilmektedir.

İşleme merkezinde birden fazla parçanın işlenmesi düşünülüyorsa ilk önce yumuşak malzeme işlemek için iş mili hız hesabı yapılır ve tezgahın beklenen maksimum iş mili hızı bulunur. Daha sonra kaba talaş işlemi veya sert malzemeler için güç hesabı yaparak gerekli maksimum güç bulunur veya hesap yapmadan direk olarak iş mili hızı ve iş mili motor gücü girilebilmektedir (Şekil 6). Programda yapılan hesap, küçük işleme genişlikli takım ile alın frezeleme yaparken gerekli iş mili hızı ve motor gücü hesabıdır. Bu kısmın akış şeması Şekil 7’de gösterilmiştir

4. EN UYGUN İŞLEME MERKEZİNİN SEÇİMİ

Bu bölümde en uygun işleme merkezinin seçiminde kullanılan dört farklı duruma ait kriterler Çizelge 2’de gösterilmiştir. Şekil 8’de görülen “Uygun işleme merkezleri” düğmesine tıklanarak işleme merkezi seçiminde kullanılacak dört durum seçeneği ekrana getirilir. Seçilen duruma göre “ağırlıklandırılmış toplam karar modeli” ile işleme

merkezlerinin puanı belirlenerek en yüksek puandan en düşüğüne doğru sıralanır.

Ağırlıklandırılmış toplam karar modeli [16], yaygın olarak kullanılan “çok özellikli karar verme metodları”ndan biridir. Programda kullanılan seçim faktörleri; Üretkenlik, Esneklik, Hassasiyet ve Boyutsal Veriler’dir.

Seri ve kesme hızları için sadece X yönündeki değerler seçim faktörü olarak ele alınmıştır. Çünkü X, Y ve Z yönündeki kesme ve seri hızlar genelde birbirine eşittir. İşleme merkezleri konusunda uzmanlaşmış kişiler tarafından markalarına göre işleme merkezlerine “hassaslık uzman puanı” adı altında 1 ile 10 arasında puanlar verilmiştir. Bu puanlama ile farklı marka işleme merkezlerinin bazı özellikleri birbirinin aynı olmasına rağmen iyi ve kötü kalitedeki işleme merkezlerinin birbirleriyle doğru bir karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Tezgahlarının birbiriyle karşılaştırılarak en uygununun belirlenmesinde Çizelge 2’deki seçim faktörlerinin kendi aralarında normalize edilmesi gerekir. “döner tabla”, “iki eksenli döner tabla”, “indeksli tabla”, “lineer cetvel”, “iş mili içinden su verme” gibi tezgah özelliklerinin değerleri veritabanında “Var”, “Yok”, veya “Ops”(opsiyon) şeklinde tanımlandığından “Var” için 10, “Ops” için 5 ve “Yok” için 1 değerleri verilerek sayısallaştırılır. Kriterleri normalize etmek için aşağıdaki formüller kullanılmıştır [16].

CNC İşleme Merkezi Seçimi v1.0a
Dosya Düzen

ELEME GÜÇ-HIZ HESABI

Küçük işleme genişlikli takım ile alın frezeleme yaparken gerekli iş mili hızı ve motor gücü hesabı
 Tezgahın iş mili hızı ve iş mili motor gücünü hesap yapmadan yazmak istiyorum

Malzeme Tablosu *Altı çizili parametreleri tablodan malzemeye göre seçiniz.

Malzeme kodu*	ALÇ1 ALÇ2
Kesme hızı*	m/dak
Takım çapı	mm
Kesici diş sayısı	adet
Diş başına ilerleme*	mm/diş
Kesme genişliği	mm
Kesme derinliği	mm

Hız Hesapla

Güç Hesapla

Sağa aktar

İş Mili Hızı dev/dak

İş Mili Motor Gücü HP
kW

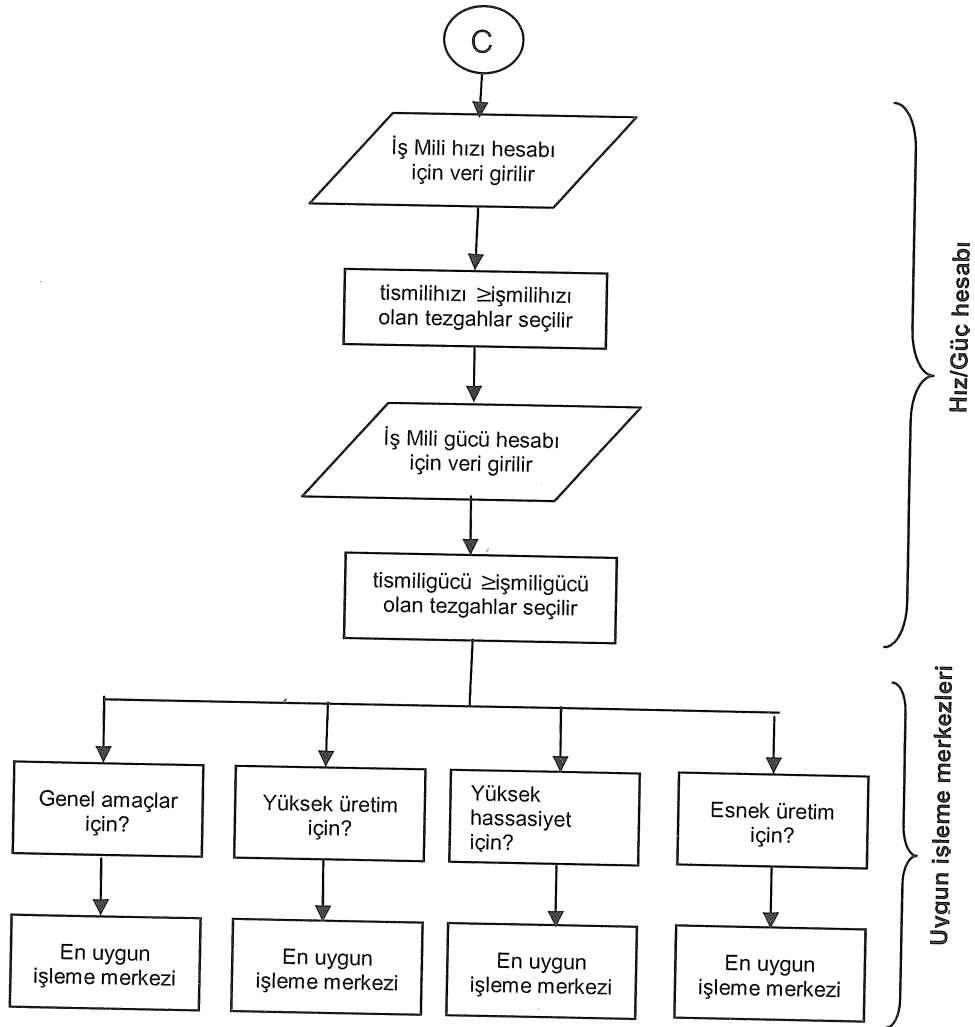
İş Mili Hızı dev/dak

İş Mili Motor Gücü HP

İleri >>

ÖNERİ!
İlk önce yüksek hız gerektiren operasyon için Hız hesabı yapın. (Yumuşak malzeme ve küçük takım çapları için iş mili hızı yüksek olur). Daha sonra yüksek güç gerektiren operasyon için güç hesabı yapın. (sert malzeme ve/veya kaba talaş işlemleri)

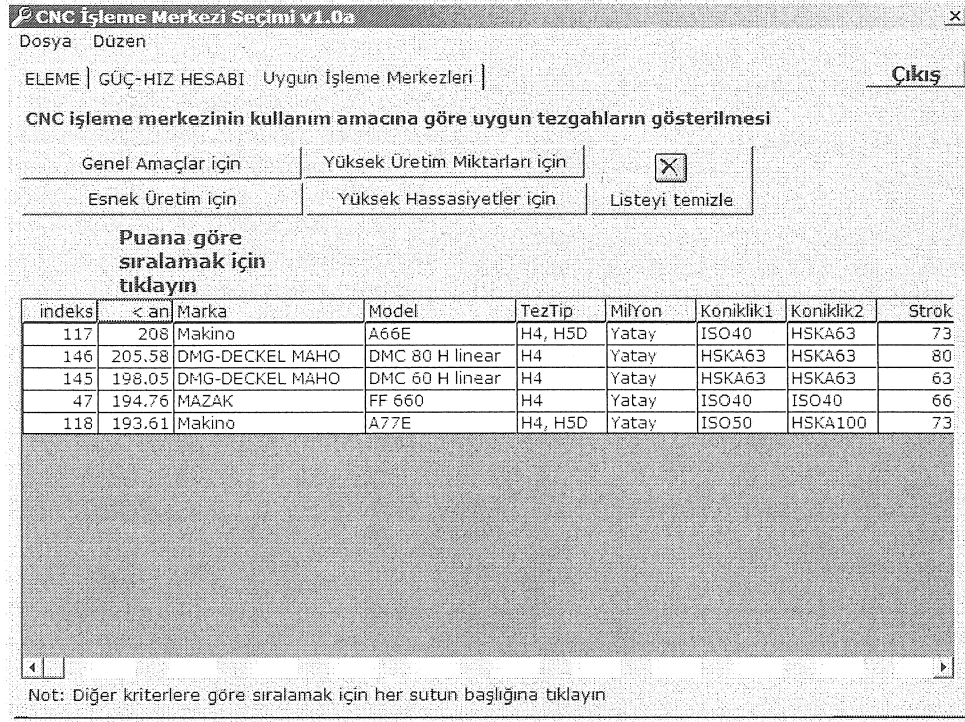
Şekil 6. Güç-hız hesabı ekranı



Şekil 7. Hız/Güç hesabı ve uygun işleme merkezleri kısmının akış şeması

Çizelge 2. Seçim faktörleri

Üretkenlik	Esneklik	Hassasiyet
Seri hızlar	Palet sayısı	Hassaslık uzman puanı
Kesme hızları	Döner tabla	Tekrarlanabilirlik hassasiyeti
Eksen ivmesi	İki eksenli döner tabla	Konumlama hassasiyeti
Takımdan takıma süre	İndeksli tabla	Lineer cetvel
Talaştan talaşa süre	Tabla boyu (L)	İş mili içinden su verme
İş mili gücü	Tabla genişliği (W)	Boyutsal veriler
İş mili torku	X stroku	Tezgahın boyu (L)
İş mili hızı	Y stroku	Tezgah genişliği (W)
	Z stroku	Tezgah yüksekliği (H)



Şekil 8. Uygun işleme merkezleri ekranı

Yüksek değerlere sahip olması istenen özellikler için;

$$NK_{mij} = \frac{K_{mij}}{K_{1ij} + K_{2ij} + \dots + K_{Mij}}$$

$m=1..M, i=1..I, j=1..J$

Düşük değerlere sahip olması istenen özellikler için;

$$NK_{mij} = \frac{1/K_{mij}}{1/K_{1ij} + 1/K_{2ij} + \dots + 1/K_{Mij}}$$

$m=1..M, i=1..I, j=1..J$

K_{mij} = m tezgahının i seçim kriteri altındaki j alt kriterinin değeri; NK_{mij} = m tezgahının i seçim kriteri altındaki j alt kriterinin normalize değeri; m= Tezgah indeksi; M= Toplam tezgah sayısı; i= Ana kriter indeksi; I= Toplam ana seçim kriter sayısı; j= Alt kriter indeksi; J= Toplam alt kriter sayısı'nu ifade etmektedir [16].

(1)

Dört senaryo için ana seçim kriterlerinin uzmanlar tarafından puan verilip normalize edilmiş ağırlıkları (A_i) Çizelge 3'de, alt kriterlerin puanlanarak normalize edilmiş puanları (A_{ij}) Çizelge 4'de gösterilmiştir.

(2)

Her tezgahın tüm kriterler göre toplam puanı (3) ve (4) formülleri ile hesaplanır.

$$P_{mi} = \sum_{j=1}^J NK_{mij} \times A_{ij} \quad m=1..M, i=..I$$

$$T_m = \sum_{i=1}^I P_{mi} \times A_i \quad m=1..M, i=..I$$

A_i = i seçim kriterinin normalize ağırlığı; A_{ij} = i seçim kriteri altındaki j alt kriterinin normalize ağırlığı; P_{mi} = i seçim kriterine göre m. tezgahının puanı; T_m = m tezgahının tüm kriterlere göre puanını ifade etmektedir. Seçilen kullanım durumuna göre en yüksek puana sahip işleme merkezi, uygun işleme merkezleri arasında en iyisidir.

6. ÖRNEK UYGULAMA

Hema Endüstri A.Ş firması, 2 yıl önce yıllık üretim miktarı 115 000 adet olan direksiyon gövdesinin yağ giriş-çıkış deliklerinin ve bağlantı deliklerinin açılması ile bağlantı yüzeyinin frezelenmesi için bir CNC işleme merkezine ihtiyaç duymuştur. Üst yönetim ve bu konuda uzman mühendisler tarafından TOPPER TONG TAI'nin TMV-610A modelinin alınmasına karar verilmiştir. Geliştirilen uzman sistem ile hangi işleme merkezinin

seçileceği araştırılacaktır. Parça ile ilgili veriler aşağıda verilmiştir.

İş tipi: Bir yüzeyin frezelenmesi ve çeşitli çaplardaki deliklerin açılması (kaba/yarı/hassas işleme); **Üretim miktarı:** 115 000 adet/yıl (2 vardiya çalışacak); **Parça boyutları:** L=605 mm, W=250 mm, H=150 mm; **Malzemesi:** Alüminyum (sertlik:120 HB); **Gerekli takım sayısı:** 12; **En uzun takım boyu:** 150 mm; **En büyük takım çapı:** Ø63 mm; **En ağır takımın ağırlığı:** Toplam 6 kg (takım=3 kg, tutucu=3 kg); **Parça ve bağlama aparatlarının toplam ağırlığı:** 25 kg; **Konum toleransları:** 0,1 mm; **İş milinin ulaşacağı maksimum hız:** Ø7,3 mm PCD matkap ile kesme hızı 200 m/dak verilerek elde edilecektir; **İş milinin ulaşacağı maksimum güç:** Ø63 mm PCD freze çakısı (4 ağızlı) ile kesme hızı 600 m/dak, ilerleme miktarı 0,2 mm/diş verilerek kesme genişliği 35 mm ve talaş derinliği 2 mm'de elde edilecektir.

“Uygun işleme merkezleri” sekmesindeki dört durum için elde edilen sıralamalar, Çizelge 5’de gösterilmiştir. Tezgah iki vardiya sürekli çalışacağından iş parçasının istenilen toleranslar içinde işlenebilmesi için kaliteli ve uzun süre hassasiyetini kaybetmeyecek bir işleme merkezinin seçilmesi gerekmektedir. Bu yüzden “yüksek hassasiyetler için” durumu bu iş için daha uygundur (Çizelge 5,6).

Çizelge 3. Ana seçim kriterlerinin normalize edilmiş ağırlıkları (A_i)

Kullanım amacı	Üretkenlik	Esneklik	Hassasiyet	Boyutsal
Genel amaçlar için	0.50	0.15	0.30	0.05
Yüksek üretim miktarları için	0.40	0.15	0.40	0.05
Esnek üretim için	0.45	0.30	0.20	0.05
Yüksek hassasiyet için	0.20	0.20	0.55	0.05

Çizelge 4: Alt seçim kriterlerinin normalize edilmiş ağırlıkları (A_{ij})

	Üretkenlik		Esneklik		Hassasiyet	
	HızlıX	0.145	Palets	0.070	Dinamikp	0.408
	KesmeX	0.129	Dönel	0.139	Pozis	0.163
	İvme	0.097	D.Dönel	0.139	Tekrar	0.163
	Tak tak	0.161	İndeks	0.097	Throughc	0.061
	Tal tal	0.161	TablaL	0.111	lineerc	0.205
Taperscr<5	Güç	0.081	TablaW	0.111	Boyutsal	
	Tork	0.145	StrokX	0.111	TezL	0.400
	MilHızı	0.081	StrokY	0.111	TezW	0.400
5<Taperscr<7	Güç	0.113	StrokZ	0.111	TezH	0.200
	Tork	0.065				
	MilHızı	0.081				
Taperscr>7	Güç	0.081				
	Tork	0.081				
	MilHızı	0.145				

Çizelge 5. Dört durum için işleme merkezlerinin sıralaması

Genel Amaçlar için				Yüksek üretim için			
Sıra	Puan	Marka	Model	Sıra	Puan	Marka	Model
1	202,51	DMG	DMC 64 V linear	1	207,46	TOPPER	TMV-610A
2	199,18	TOPPER	TMV-610A	2	200,44	DMG	DMC 64 V linear
3	164,87	FADAL	VMC P-3020	3	161,01	FADAL	VMC P-3020
4	145,97	MITSUBISHI	M-V5CN	4	145,31	MITSUBISHI	M-V5CN
5	144,12	DMG	DMC 63 V	5	144,66	HARDINGE	VMC 800II
6	143,35	HARDINGE	VMC 800II	6	141,12	DMG	DMC 63 V

Esnek üretim için				Yüksek hassasiyetler için			
Sıra	Puan	Marka	Model	Sıra	Puan	Marka	Model
1	198,32	DMG	DMC 64 V linear	1	219,84	TOPPER	TMV-610A
2	190,77	TOPPER	TMV-610A	2	195,24	DMG	DMC 64 V linear
3	176,38	FADAL	VMC P-3020	3	157,79	FADAL	VMC P-3020
4	149,53	HARDINGE	VMC 800II	4	149,12	HARDINGE	VMC 800II
5	143,69	MITSUBISHI	M-V5CN	5	143,34	MITSUBISHI	M-V5CN
6	141,31	DMG	DMC 63 V	6	134,67	DMG	DMC 63 V

Çizelge 6. Yüksek hassasiyetli üretim için işleme merkezleri

Puan	Marka	Model	Strok X (mm)	Strok Y (mm)	Strok Z (mm)	İş Mili Gücü (HP)	Boşta hız (m/dak)	Pozis. Hass. (mm)	Tekrar. Hass. (mm)	Fiyat (Euro)
219,84	TOPPER	TMV-610A	610	610	406	10	28.4	0,0015	0,0010	63 000
195,24	DMG	DMC 64 V linear	640	600	500	25	70	0,0080	0,0040	92 000
157,79	FADAL	VMC P-3020	762	508	610	23	23	0,0041	0,0015	70 000
149,12	HARDINGE	VMC 800II	800	510	510	17.3	30	0,0050	0,0025	43 600
143,34	MITSUBISHI	M-V5CN	800	510	460	15	30	0,0040	0,0015	63 000
134,67	DMG	DMC 63 V	630	500	500	17.4	30	0,0080	0,0040	69 500

25 HP-10 000 dev/dak'lık iş miline sahip DMG 64V linear, 10 HP-10 000 dev/dak'lık iş miline sahip TMV-610A'ya göre daha güçlü olmasına karşın alüminyum işlendiği için güce çok ihtiyaç duyulmamaktadır. Boşta seri hızlar ve eksen ivmelenmesi, DMG 64V linear'in TMV-610A'dan daha hızlı olmasına rağmen delikler arası mesafenin az olmasından dolayı bu hızlara asla çıkılmayacağı için yüksek olmasının fazla bir önemi yoktur. Parçanın tezgahta geçen zamanına önemli etkisi bulunan palet değiştirme süresi ve takım değiştirme süresi, alternatif işleme merkezleri arasında TMV-610A'da en azdır (Çizelge 7). Görüldüğü gibi hedeflenen değere sadece TMV-610A ve M-V5CN ile erişilebilmektedir. İkisinin de fiyatlarının aynı olmasına rağmen TMV-610A'nın puanı "M-V5CN'den fazla olduğundan dolayı TMV-610A'yı seçmek uygundur. Firmanın da bu işleme merkezini seçmiş olması, geliştirilen uzman sistemin

algoritması ve seçim kriterlerinin ağırlıklandırılması ile uzman yerine geçebilecek karar verme yeteneğine sahip olduğunun bir göstergesidir.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

İşletmeler için bir çok tezgah arasından işe uygun işleme merkezini seçmek önemli bir karar alma problemidir. Geliştirilen uzman sistemde bir uzmanın tezgah seçiminde izlediği yol benzetilerek tatmin edici sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Program yazılırken pratik uygulamalar dikkate alınarak çoğu zaman gözden kaçan işleme merkezlerinin statik/dinamik rijitliği, ömrü gibi kriterler "hassaslık uzman puanı" adı altında tezgahları tanıyan uzmanlar tarafından markasına göre puanlanarak seçimin sadece tezgahın performans verileri ile sınırlı kalmaması sağlanmıştır.

Çizelge 7. Tezgahların karşılaştırılması

Marka	Model	Tal- Tal (sn)	Palet D. (sn)	Boşta zaman (sn)	Toplam işleme süresi (sn)	1 saatteki Üret. M. (adet)	Haftalık Üret. M. (adet)	Yıllık Üret. M. (adet)
TOPPER	TMV-610A	4,2	5	55,4	120,4	29,9	2 691	134 550
DMG	DMC 64 V linear	6,5	10	88	153	23,5	2 118	105 900
FADAL	VMC P-3020	5	20	80	145	24,8	2 235	111 750
HARDINGE	VMC 800II	6	20	92	157	22,9	2 064	103 200
MITSUBISHI	M-V5CN	5	15	75	140	25,7	2 314	115 700
DMG	DMC 63 V	6,5	10	88	153	23,5	2 118	105 900

Programın güncelliğini koruması için son çıkan işleme merkezlerinin verilerinin veritabanına girilmesi gerekmektedir. Geliştirilen bu uzman sistemin katkıları ve sağladığı faydalar; belirtilen işe veya prosese göre en uygun tezgahı seçmek, karar verme süresini kısaltmak, bu alandaki uzmanların yetersizliğini ortadan kaldırmak, işleme merkezleri ve seçimi üzerine iyi bir eğitim aracı olarak kullanılabilir ve uzmanlara destek verici bir program niteliğinde olmak şeklinde sıralanabilir.

Program yazılırken karşılaşılan en önemli zorluk; tezgahla ilgili bilgilerin standart bir formda olmayışı ve yatay ve dikey işleme merkezleri için tek bir veritabanı oluşturmada karşılaşılan güçlüklerdir. Bu çalışmada, sadece yatay ve dikey işleme merkezlerini içerdiği için ileriki dönemlerde yapılacak çalışmalarda torna, taşlama vb. tezgahları da içeren daha kapsamlı bir uzman sistem programı geliştirilebilir. Ayrıca seçim kriterlerinin ağırlıkları kullanıcı tarafından değiştirilebilir şekilde yapılırsa kullanıcı tarafından daha tatmin edici sonuçlar elde edilebilir.

AN EXPERT SYSTEM FOR SELECTING A CNC MACHINING CENTER

With the globalization of business, competitive economy, development of computer, electronical and mechanical technology, decreased product life cycles, existing machine tools that inadequate qualified on machining and time, the firms are forced to use new CNC machining centers. Selecting a machining center that will be used on production line of a firm is a difficult decision making problem which has to takes into account of several properties of the machine tools and the parts that will be machined. In this study, an expert system was developed by considering practical applications to help the decision maker to select machining center. Suitable machining centers are selected from the database according to answers of the user to the questions. The most suitable machining center is determined by sorting the machines from the best to

worst by comparing and weighting the properties of selected machines for four different cases.

Keywords: Machining centers, Expert systems, Weighted Sum Decision Model.

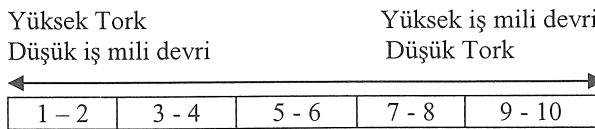
KAYNAKLAR

1. Kalpakjian, S., ve Schmid, S.R., *Manufacturing Engineering and Technology*, Prentice-Hall, Inc., Fourth Edition., Upper Saddle River, NJ, 2001.
2. Thusty, G., *Manufacturing Processes and Equipment*, Chapter 7-10, Printice Hall, USA, 2000.
3. Woodrow, W.C., *Modern Machine Shop's Handbook for the Metalworking Industries*, Hanser Gardner Publications, New York: 749-808, 2002.
4. Arslan, M.Ç., *Decision Support System For Machine Tool Selection*, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 2002.
5. Gopalakrishnan, B., Yoshii, T., ve Dappili, S.M., Decision Support System for Machining Center Selection, *Journal of Manufacturing Technology Management*, 15 (2004) 2, 144-154.
6. Layek, A-M., ve Lars, J.R., Algorithm Based Decision Support System for the Concerted Selection Ofequipment in Machining/Assembly Cells, *International Journal of Production Research*, 38 (2000) 2, 323-339.
7. Lin, Z-C., ve Yang, C-B., Evaluation of Machine Selection by the AHP Method, *Journal of Materials Processing Technology*, 57 (1996), 253-258.
8. Oeltjenbruns, H., Kolarik, W.J., ve Schnadt-Kirschner, R., Strategic Planning in Manufacturing Systems- AHP Application to an Equipment Replacement Decision, *International Journal of Production Economics*, 38 (1995), 189-197.

9. Çimren, E., Budak, E., ve Çatay, B., Development of A Machine Tool Selection System Using Analytic Hierarchy Process, *Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, (2004), 150-156.
10. Yurdakul, M., AHP as A Strategic Decision Making Tool to Justify Machine Tool Selection, *Journal of Materials Processing Technology*, 146 (2004), 365-376.
11. Sun, S., Assessing Computer Numerical Control Machines Using Data Envelopment Analysis, *International Journal of Production Research*, 40 (2002) 9, 2011-2039.
12. Devedzic, G.B., Pap, E., Multicriteria-Multistages Linguistic Evaluation and Ranking of Machine Tools, *Fuzzy Sets and Systems*, 102 (1999), 451-461.
13. Atmani, A., Lashkari, R.S., A model of Machine-Tool Selection and Operation Allocation in Flexible Manufacturing System, *International Journal of Production Research*, 36 (1998) 5, 1339-1349.
14. Tabucanon, M. T., Batanov, D. N. ve Verma, D. K., Intelligent Decision Support System (DSS) for the Selection Process of Alternative Machines for Flexible Manufacturing Systems (FMS), *Computers in Industry*, 25 (1994), 131-143.
15. Wang, T.-Y., Shaw, C.-F. ve Chen Y.-L., Machine Selection in Flexible Manufacturing Cell: A Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Approach, *International Journal of Production Research*, 38 (2000) 9, 2079-2097.
16. Goh, C.-H., Tung, Y.-C. ve Cheng, C.-H., A Revised Weighted Sum Decision Model for Robot Selection, *Computers and Industrial Engineering*, 30 (1995) 2, 193-199.

EK-1. İŞ MİLİ KONİKLİĞİ HESABI İÇİN TABLO

Malzeme	Sertlik (HB)	Kaba talaş	Yarı bitirme	İnce Talaş
Alaşsız çelikler, Düşük alaşımlı çelikler, Yüksek alaşımlı çelikler, Döküm çelikler, Paslanmaz çelikler	< 180	5	6	7
	181 - 270	4	5	6
	271 - 320	3	4	5
	321 - 380	2	3	4
Temper dökümler, Gri dökme demirler, Sfero SG dökme demirler	< 180	5	6	8
	181 - 260	4	5	7
Alüminyum, alüminyum alaşımları, Magnezyum	< 60	9	10	10
	61 - 100	9	10	10
	101 - 130	8	9	10
	131 - 150	7	8	10
Bakır ve Bakır alaşımları	90 -240	7	8	10
	151 - 150	7	7	9
	241 - 300	6	6	8
Plastik		9	10	10
Isıl dirençli süper alaşımlar; Demir esaslı alaşımlar, Nikel esaslı alaşımlar.	< 200	3	4	5
	201 - 250	2	3	4
	251 - 350	1	2	3
Titanyum alaşımları	400 Mpa	6	7	8
	1050 Mpa	5	6	7
Ekstra sert çelik, Su verilmiş d. demirler.	55 - 60 HRC	1	2	3



Ankara Metro Trenlerinde Katı ve Sıvı Yağlanmanın Tekerlek Aşınmasına Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Sedat Özal

Ankara Metrosu, Bakım Onarım
Atölyesi, Ankara,

Can Çoğun,

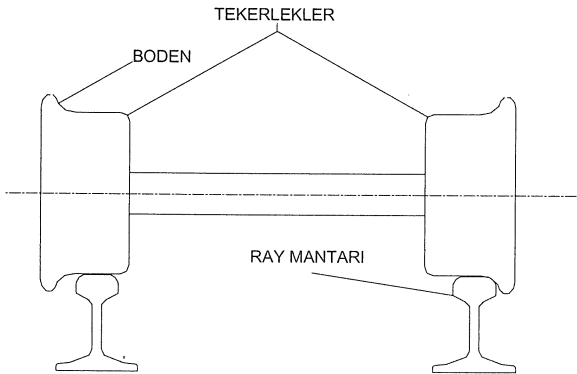
Makina Mühendisliği Bölümü, Gazi
Üniversitesi, Ankara

Metro ve demiryolları işletmelerinde ray-tekerlek aşınmalarını azaltmak amacıyla yağlama yapılmaktadır. Günümüzde tekerlek boden yağlama sistemleri ve yağları için herhangi bir standart oluşturulmamış olup hangi yağlama sisteminin ve yağların hangi işletmelerde daha verimli olacağını denemeler yapmaksızın tespit etmek mümkün değildir. Bu çalışmada Ankara Metrosu trenlerinde tekerlek katı yağlama ile yağlamasız ve sıvı yağlama ile katı yağlama sistemleri karşılaştırılmış, tekerlek aşınmaları belirli bir süre gözlenmiştir. Yapılan ilk deneyde sabo frenleme sistemine sahip Ankara Metrosunda sıvı yağlamanın uygulanabilirliği testleri yapılmıştır. Deneyin ikinci aşamasında tekerleklerine yağlama yapılmayan ve katı yağlama yapılan tren tekerlek aşınmaları yeraltı tekerlek tornasında ölçülerek karşılaştırılmıştır. Deneyin üçüncü aşamasında katı yağlama yapılan tren ile sıvı yağlama yapılan tren tekerlek aşınmaları fotoğraflarla ve yeraltı tekerlek tornasında yapılan ölçümlerle takip edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : katı yağlama, sıvı yağlama, boden yağlama, tekerlek aşınması

1. GİRİŞ

Modern demiryolu işletmeciliği yapan ülkelerde pahalı ve üstün teknoloji ürünü olan tekerlek ve raylarda meydana gelen aşınmaların azaltılması amacıyla tekerlek bodeni ile ray mantarlarının temasta olduğu kısımlar (Şekil 1) arasında yağ filmi oluşturma çalışmaları uzun yıllardır sürmektedir. Yapılan araştırmalar tekerleklerde oluşan aşınmaların en büyük kısmının trenlerin kurbdan (virajdan) geçerken boden ile ray arasındaki sürtünmeden dolayı olduğunu göstermiştir. Bu nedenle yapılan bütün çalışmalar trenlerin kurlardan geçerken oluşan aşınmayı ve gürültüyü azaltmaya yönelik olmuştur.



Şekil 1. Kurlardan geçişlerde ray-tekerlek görüntüsü

Boden yağlama ilk olarak buharlı lokomotiflerle başlamış ve çubuk şeklindeki katı yağ susta basıncı ile tekerlek bodenine tatbik edilmiştir. Boden yağlamanın tekerlek aşınmasını önlemesi yanında özellikle dar kurplu kesimlerdeki ray aşınmalarını azaltarak ray ömrünü arttırması, tekerlek tornalamasının azaltılarak trenin servis dışı beklemesinin azaltılması, tekerlek ve ray ömrünün uzatılarak maliyetin düşürülmesi, sürtünmeden dolayı oluşan gürültünün önlenmesi ve tren tekerleklerinin sürtünmesinin azalması neticesinde enerji tasarrufu sağlanması gibi faydaları vardır. Türkiye ve dünyada kullanılan yağ ve yağlama sistemlerinde herhangi bir standart yoktur. Türkiye'deki metroların tümünde tekerlek yağlama sistemi mevcuttur.

Bu çalışmanın amacı, Ankara Metrosunda çalışan trenlerin farklı yağlama teknikleri için tekerlek aşınmasını deneysel olarak incelemektir. Yapılan bu çalışmada, katı yağlama ile yağlamasız ve sıvı yağlama ile katı yağlama sistemleri karşılaştırılmış, tren tekerleklerinde oluşan aşınmalar belirli kilometrelerde ölçülerek tekerlek aşınmaları gözlenmiştir. Bu çalışma ile sabo frenleme sisteminin uygulandığı metro trenlerinde, sıvı yağlama sisteminin uygulanabilirliği incelenmiştir. Her geçen gün Türkiye'de metro ağının genişlediği düşünülürse boden yağlama konusunda yapılacak bu çalışmanın sonuçlarından yeni metrolarda faydalanılabilecektir.

2. RAY VE TEKERLEK AŞINMASI

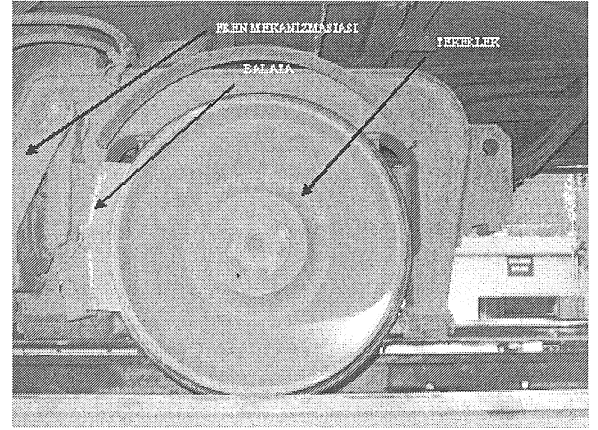
Raylı sistemlerde ray ve tekerlek değiştirilmesinin başlıca nedeni aşınmadır. Aşınma, ray mantarı ile tekerlek flanşının temas ettiği noktada yoğunlaşır. Tekerlek ömrünü tekerlek çapı, boden kalınlığı ya da boden yüksekliğindeki aşınmalar belirler.

Tekerlek/ray aşınması farklı aşınma mekanizmalarının (adhesive, abrasive, yorulma ve korozyon) karışımı olarak bilinmektedir. Yapılan ilk çalışmalarda, tekerlek ve rayda aşınma çeşitlerini görebilmek için özel test ekipmanları kurulmuştur [1, 2]. Tam lekli ve küçük ölçekli testler için eş-diskler kullanılmıştır [3-8]. Eş-disklerle yapılan ilk çalışmalarda, farklı aşınma miktarları oluşturan çeşitli aşınmaların en basit sınıflandırılması ‘‘yavaş aşınma’’ ve ‘‘aşırı aşınma’’ olarak tanımlanmıştır [5, 6]. Yapılan bir çalışmada yeni tekerlek malzemesi olan R8T kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ‘‘şiddetli aşınma’’nın olduğu nc bir aşınma ilerlemesi tanımlanmıştır [6, 9]. Aşınmanın ilerlemesi ile ilgili yapılan tanımlamalar, enerjinin değişimi ve tekerlek/ray yerine kullanılan disk ya da silindirlerde oluşan malzeme kayıplarının ağırlıklarının tartılması ile oluşturulmuştur. Yavaş aşınma, düşük kayma ve düşük yüklerde oluşan aşınmadır. Genelde oksitlenme sonucu ince bir aşınma tabakası oluşur. Çok küçük kırıntı şeklinde malzemenin kopması şeklinde karakterize edilmiştir [5, 6, 10]. Aşırı aşınma asıl tekerlek/ray aşınmasını oluşturur. Yük ve kaymanın artması ile oluşan aşınma türüdür. Bu aşınmada plastik deformasyon oluşur, kıymık şeklinde malzeme kopmasına rastlanır. şiddetli aşınmada ise, oluşan çatlaklar değişik yönlerde, paralel şekilde ilere doğru ilerleyerek derin çatlaklar oluşturur ve büyük miktarda malzeme kopması görülür.

3. TEKERLEK YAğLAMA SİSTEMLERİ VE TEKERLEK KAYMASI

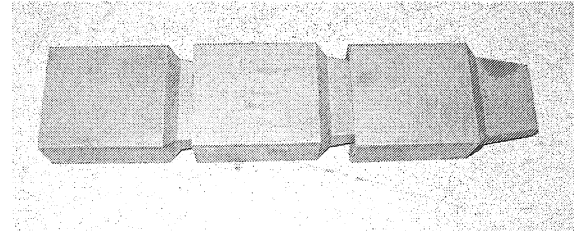
Tekerlek boden yağlama sistemleri genel olarak sıvı ve katı yağlama sistemleri olarak ikiye ayrılır. Kullanılan yağlama sisteminin seçiminde en önemli etken, trenlerde kullanılan frenleme sistemidir. Trenlerde iki türlü frenleme sistemi mevcuttur. Bunlardan biri sabo frenleme sistemi, diğeri ise disk frenleme sistemidir. Sabo frenleme sisteminde, hava kompresörü tarafından üretilen basıncılı havanın fren silindirleri vasıtasıyla balatayı iterek teker yüzeyine basması sağlanır (Resim 1). Bu frenleme sisteminde, balata teker yüzeyine direk temas ettiğinden dolayı sıvı yağlama sistemi genelde kullanılmaz. Kullanılması halinde, tekerlek kayması oluşma riski büyüktür. Disk frenleme sisteminde hava kompresörü tarafından üretilen basıncılı hava vasıtasıyla balataların aks üzerinde bulunan disklere

basması sağlanır. Disk frenleme sisteminde her iki yağlama sistemini de kullanmak mümkündür.



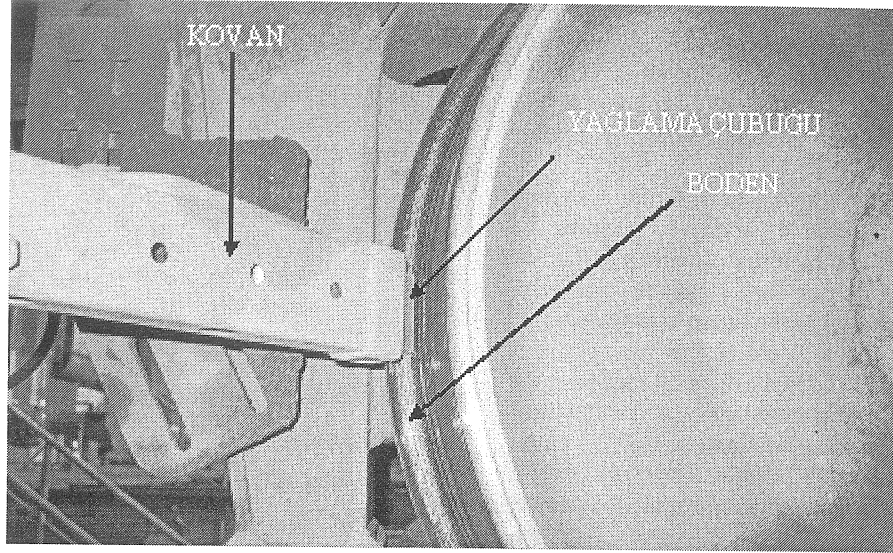
Resim 1. Ankara Metrosu sabo frenleme sistemi

Katı yağlama sistemi yağ çubuğu, çubuğun teker yüzeyine basmasını sağlayan yay ve bu iki parçayı tren gövdesine monte etmek için bir kovandan oluşan basit bir düzenekten oluşmaktadır (Resim 2 ve Resim 3). Bakım masrafı düşüktür. Sadece yağ çubuğu bittiğinde yenisiyle değiştirilir. Sıvı yağlama sistemi yağ tankı, pnömatik aksam ve nozullardan oluşan bir sistemdir (Resim 4). Yağlama kompresör tarafından oluşturulan basıncılı havanın sıvı yağı tekerlek yüzeyine püskürtmesi esasına dayanır. Bakımı katı yağlama sistemine göre daha zor ve kurulum maliyeti yüksektir. Tren kaportasına ve tren ekipmanlarına sıçrayan yağların devamlı temizlenmesi, nozulların kontrol edilmesi ve yağ değişiminin periyodik olarak yapılması gerekir.

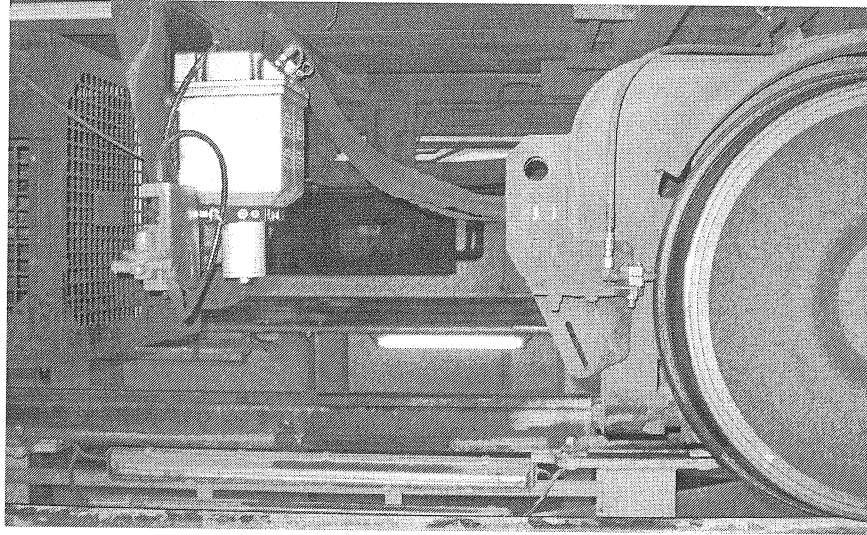


Resim 2. Yağlama ubuğu

Tekerlek kayması özellikle otomatik tren işletmesine sahip metrolarda büyük önem taşımaktadır. Metro trenleri ile işletme merkezi arasında lup kabloları ve telsizler aracılığı ile devamlı bir iletişim vardır. Tekerlerin, önceden belirlenen kritik bir süreden fazla kayması ile aradaki iletişim kopar ve tren otomatik olarak ani duruş (acil durum) yapar. Acil durum duruşlarında tekerlek ray arasında oluşan sürtünmeden dolayı tekerleklerde düzleşme olur. Bu durumdaki tekerlek torna edilmezse trende aşırı bir titreşim ve gürültü oluşur. Bu nedenle acil durum yapan tren tekerlekleri ölçülerek tornalanır. Böyle istisnai durumlarda tekerlerin ömrü hesaplanandan çok daha kısa olur.



Resim 3. Katı yağlama sistemi



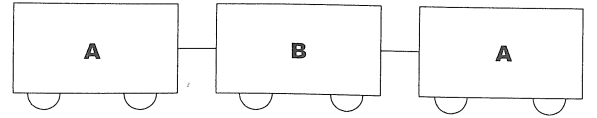
Resim 4. Sıvı yağlama sistemi

4. ANKARA METROSU İLE İLGİLİ BİLGİLER

Ankara Raylı Toplu Taşıma Sisteminde, bir üçlü tren iki motorlu araç (A araçları) ve bir treyler (B aracı) araçtan oluşmaktadır. Üçlü araçlar Ankara Metrosunda A-B-A şeklinde adlandırılırlar (Şekil 2). A araçlarında tren hareketlerini sağlayan motorlar, B araçlarında ise sistemin basınçlı hava gereksinimini sağlayan hava kompresörü bulunur. Her araç 3,12 m genişlik ve 22,87 m uzunluktadır.

Ankara Metrosunda katı yağlama sistemi mevcuttur. Her üçlü aracın ilk akslarında katı

yağlama çubukları mevcuttur. Yağlama sadece kurlarda değil bütün hat boyunca yapılmaktadır. Katı yağlama sisteminde en çok karşılaşılan problemler yağlama çubuklarının çok sık kırılması ve aşırı gürültünün oluşmasıdır.



Şekil 2. Ankara Metrosu tren konfigürasyonu

5. TEKERLEK YAĞLAMASI ÜZERİNE YAPILAN ARAŞTIRMALAR

TCDD'nin AR-GE bölümü tarafından tekerlek-ray aşınması ile ilgili bir araştırma yapılmıştır [11]. Çeşitli etkenler incelendikten sonra ray-tekerlek aşınmasında en önemli etkenin trenlerin kurlardan geçerken oluşturduğu aşınmalar olduğu sonucuna varılmıştır. Boden yağlama sistemleriyle ilgili TCDD'nin yapmış olduğu araştırmalar sonucunda; DE 22000 tipi lokomotiflerde Boden yağlama sistemi takılmadan önce tekerlek ömrü 200000 km, Boden yağlama sistemi takıldıktan sonra 600000 km; E 43000 tipi lokomotifler (Divriği-İskenderun hat kesiminde) Boden yağlama sistemi takılmadan önce tekerlek ömrü 150000 km, Boden yağlama sistemi takıldıktan sonra 560000 km; yolcu vagonları (Ankara-İstanbul hat kesiminde) Boden yağlama sistemleri kullanılmadan önce tekerlek ömrü 69000 km, Boden yağlama sistemleri kullanılmaya başlandıktan sonra 920000 km olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere TCDD tarafından yapılan çalışmalarda, yağlama yapan trenlerin yağlama yapmayan trenlere göre tekerlek ömürlerinin arttığı görülmektedir.

Dünya metrolarında Boden ve Ray Yağlaması ile ilgili çalışmalar: Tekerleklerde genelde 500 m'den düşük kurlarda aşınma 500-1000 m arasındaki yarıçaplı kurlara göre daha belirgindir [12]. Yağlamanın etkisiyle Ray tekerlek malzemesi önemini kısmen yitirmiştir. Steele ve Devine yaptıkları çalışmada 320 Brinel Ray sertliğindeki aşınmanın 399 Brinel sertliğine göre 6 kat azaldığını, gres yağlamada ise 2 kat azaldığını göstermiştir [13]. Uygun yağlama yanal kuvvetleri azaltırken aşınmayı da azaltmıştır. Diğer iki çalışmada yağlamalı ve yağlamasız, değişik iklim şartları incelenmiş olup iki farklı sertlikte Ray aynı kurlarda test edilmiştir. Ray yağlamasının küçük yarıçaplı kurlarda (300 m) aşınmayı 9 kat azalttığı rapor edilmiştir [14, 15]. 600-800 m yarıçaplı kurlarda aşınma kazanç miktarı yaklaşık olarak 4'tür. Yıllar arasında aşınma miktarı farkı değişen hava şartlarından dolayı oluşan doğal yağlamadan kaynaklanmaktadır. Waara'nın çalışmasında bütün bir yıl boyunca İsveç'te ağır yük trenleri uygulamalarında yapılan yağlamanın aşınmayı 3-6 kat azalttığı belirtilmiştir [16]. İspanya'da Cantara tarafından yapılan bir çalışmada tekerlere yerleştirilen yağlama sistemiyle flanş aşınma miktarının 4,5 kat azaldığı gösterilmiştir [17].

Aynı çalışmada kullanılan üst kalite çelikte Ray aşınmasının azaldığı gösterilmiştir. Bu etki iki farklı kalitede, UIC900A ve UIC 1100 Ray ile 300 m yarıçaplı kurlarda hem yağlamalı hem yağlamasız şekilde gösterilmiştir. Yağlamasız kurlarda testinde 900A ve 1100 kalite çelikleri arasındaki Ray aşınma oranı yaklaşık olarak 2'dir. Yağlamalı ve yağlamasız testler karşılaştırıldığında, kurlarda yağlama kazancı yaklaşık

olarak 9'dur. Ray başı (düşük kayma hızı ve temas basıncı) ve Ray temas yüzeyi (yüksek temas basıncı ve kayma hızı) arasındaki aşınma faktörü 10 olarak tespit edilmiştir [14].

Uluslararası araştırma kuruluşları ve demiryolu idarelerinin yapmış olduğu araştırmalara göre Boden yağlama cihazının yaygın şekilde kullanımı ile Ray ve tekerleğin daha az ısındığı, yüklü trenlerde % 9-15, boş trenlerde % 12-15 yakıt tasarrufu sağlandığı, boji (tren tekerleklerinin monteli olduğu sistem) gezintisi ve derayman (trenin raydan çıkması) hadiselerinin azaldığı, Ray ömrünün düz yolda % 45, kurlarda % 150 arttığı ve tekerlek ömrünün % 49-55 oranında arttığı tespit edilmiştir [11].

6. DENEYLER

1. Sabo frenlerde sıvı yağlamanın uygulanabilirliği testleri: Bu testler için bir trene sıvı yağlama yapan bir tertibat kurulmuştur. Tren normal servise verilerek iki ay hatta çalıştırılmıştır. Bu aşamada yapılan testler;

a) sadece kurb denilen bölgelerde tekerleğe sıvı yağlamanın yapılması,

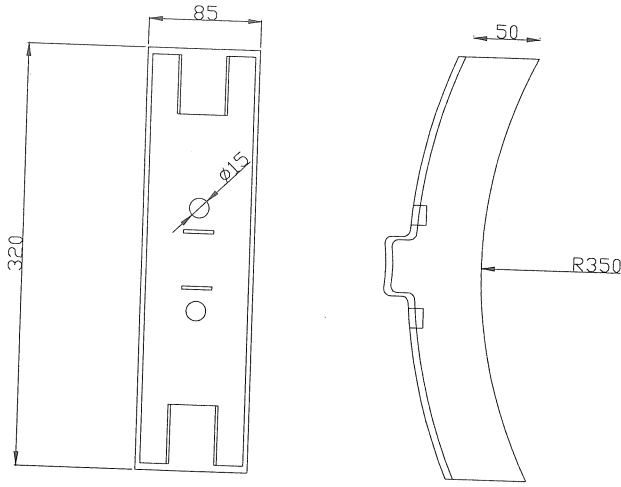
b) sıvı yağlamanın tekerlek kaymasına sebebiyet vermediğinin gözlenmesidir.

"a"da belirtilen yağlamanın sadece kurlarda yapıldığını gözlemek için bir personel sıvı yağlama sisteminin bulunduğu araçta yolculuk etmiştir. Tren servisteyken hat boyunca sıvı yağlama sisteminin yağ püskürtme sesi dinlenmiştir. Ayrıca tren servisten alındıktan sonra tekerlekler incelenerek yağlamanın uygunluğuna yağın Boden hariç tekerin raya basan kısmını yağlayıp yağlamadığı ve yağın ne kadarlık bir kısmını çevreye sıçradığı kontrol edilerek karar verilmiştir. Testlerde "b"de belirtilen durum için trenin vermiş olduğu hata kayıtları incelenmiştir. Trenin tekerlek kayması sonucunda durması gereken noktada durmadığı an "tekerlek kayması (hata kodu B4)" oluşur.

2. Tekerlek aşınması testleri: a) Yağlama yapmayan, katı yağlama ve sıvı yağlama yapan referans trenler seçilmiş, b) trenlerin tekerlekleri tornalanarak, tekerlek aşınmaları sıfırlanmış, c) yapılan çalışmanın normal işletmeyi ve bakımları aksatmayacak şekilde trenler her 4000 km'de servisten alınarak tren tekerleklerindeki Boden bölgesinin fotoğrafları çekilmiş ve yeraltı tekerlek tornasında tekerlek ölçümleri yapılmıştır. Sabo fren (balata)'nın özellikleri (Şekil 3) aşağıda verilmiştir:

- Yoğunluk : 1,96 g/cm³
- Elastisite modülü : 1290 MPa
- Özel ısı kapasitesi : 1,029 KJ/kgK
- Isıl iletkenlik : 0,80 W/MK
- Fren baskısı (maks.) : 24,4 MPa

Hız maksimum 80 km/h, sürtünme katsayısı 0,25 ve tekerlek başına düşen maksimum yükte (7104 kg) 5,89 barlık frenleme uygulanır. Bu basınçta oluşan kuvvet 44,76 kN' dir. Minimum yükte (3852 kg) 0,73 barlık frenleme uygulanır. Bu basınçta oluşan kuvvet 5,55 kN' dir.

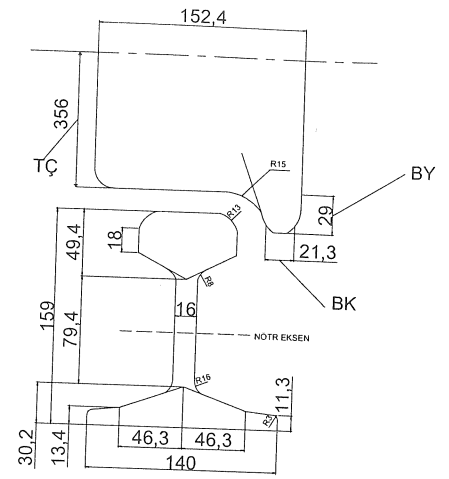


Şekil 3. Sabo fren (balata) ölçüleri

Raylar ve Tekerlek Aşınması: Ankara Metrosunda kullanılan ray (UIC 54) ve tekerlek ölçüleri Şekil 4'de görülmektedir. Tekerlekler R9T sınıfı alaşımsız çelikten imal edilmiştir. Tekerlek malzemesi %0.67 C ihtiva eden ısıl işlem görmüş (500°C' ye ısıtılarak temperlenip, açık havada soğumaya terk edilmiş) orta karbonlu çeliktir (321-363 BHN). Her tekerleğin ağırlığı 254 kg ve çapı 711.2 mm'dir. Kabul edilebilir yarıçapta aşınma miktarı 38.1 mm'dir.

Deneylerde Kullanılan Sıvı Boden Yağlama Sistemi: Deneylerde nozullar püskürtme açısı bozulmayacak şekilde bojilere yerleştirilmiştir. Yağlama nozulu, yağı teker flanşına püskürtür. Boden yağlama sistemi kurp duyarlıdır. Boden yağlama 10 km/s'den küçük hızlarda devre dışı kalmaktadır. Elektronik kontrol birimi hava beslemesi selenoid valfini belirli püskürtme sürelerinde açar (en az 4 saniyede bir). Pompa pistonu yeterli miktarda yağı havanın içine verir (0.05-1.0 cm³/strok). Bu programa göre kurblarda yağlama yapar. Püskürtme süresince teker birçok tur attığından teker flanşı ince bir yağ tabakası ile kaplanır. Kullanılan yağın özellikleri aşağıda verilmiştir:

Renk	: gri
20°C'de yoğunluk	: 1.03 g/cm ³
Viskosite	: 1.000 mPa.s
Çalışma sıcaklığı	: -40°C, +90°C



Şekil 4. Ray-tekerlek ölçüleri

Deney hattı ve tren kullanım şartları: Ankara Metrosu işletme hattı geliş-gidiş olmak üzere toplam 29.28 km'dir. İşletme hattında toplam 22 adet ve bakım alanında toplam 15 adet kurb bulunmaktadır (Çizelge 1). İşletme hattındaki en küçük kurb 300 m ve bakım alanındaki en küçük kurb 80 m yarıçapındadır. Hatta istasyonlar dahil 3164 m delme çift tünel (5 m iç çap), istasyonlar dahil 3436 m viyadük ve 2569 m hemzemin bulunmaktadır. Kızılay-Ulus istasyonları arasında katı yağlamada ray sürtünme katsayıları 0.18-0.67' dir. Araç boşken bir tekerleğe düşen yük A aracı için 3975 kg, B aracı için 3292 kg'dır. Araç maksimum yüklü iken bir tekerleğe düşen yük A aracı için 7213 kg, B aracı için 6573 kg'dır [18]. Deneylerde maksimum hız 65 km/saat ve azami eğim %3 tür.

Tekerlek tormalama: Yapılan bu çalışmada gözle görülür ilk tekerlek aşınmaları 12000 km'den sonra ortaya çıkmıştır.

7. DENEY SONUÇLARI

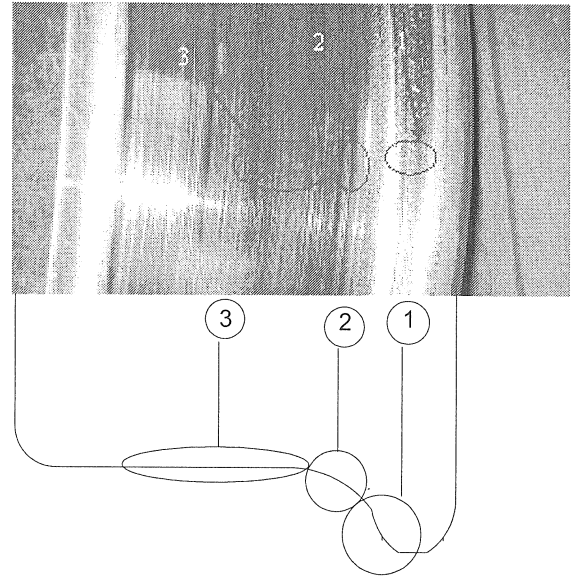
Sabo Frenlerde Sıvı Yağlamanın Uygulanabilirliği Testleri: Bu testlerde önceden özellikleri belirtilen bir sıvı yağlama sistemi tren 11'e monte edilmiştir. İlk aşamada sıvı yağlamanın kaymaya sebep olup olmadığını araştırılmıştır. Bunun için sıvı yağlama yapan test trenine 2, 4, 6 saniyelik püskürtme zaman ayarları yapılmıştır. Bir ay boyunca tren servise verilerek gözlenmeye başlanmıştır. Gözlemler sonucunda 6 ve 4 saniye ayarlama herhangi bir kayma görülmemiştir. Kurblardan geçişlerde 2 saniye yağlama ayarında 10 frenlemenin 2'sinde kayma tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sıvı yağlama miktarı arttırılsa bile trenin durması gereken hat kesimlerinde durduğunu göstermiştir. Bu deneyler sonucunda, sıvı yağlamanın sabo frenlerde tekerlek kaymasına sebebiyet vermediğini göstermiştir.

Çizelge 1. Ankara Metrosu kurb yarıçapları [19]

no	kurp yarıçapı (m)	no	kurp yarıçapı (m)
1	2000	20	550
2	1900	21	500
3	1800	22	450
4	1700	23	400
5	1600	24	375
6	1500	25	350
7	1400	26	325
8	1300	27	300
9	1200	28	275
10	1100	29	250
11	1000	30	225
12	950	31	200
13	900	32	180
14	850	33	160
15	800	34	140
16	750	35	120
17	700	36	90
18	650	37	80
19	600		

Tekerlek Aşınma Tipleri: Tekerlek aşınmasının, oluşan yükler ve temas alanlarına bağlı olarak tekerlek üzerinde üç bölgede incelenmiştir (Resim 5). Ray ile temasın çok az ya da olmadığı 1. bölgede tekerlek aşınması malzeme yorulması şeklinde ortaya çıkmaktadır (Resim 6). Bu bölgede oluşan aşınmalar, genellikle noktasal olarak başlamakta ve takiben genişlemektedir. Aynı çevresel hat üzerinde oluşan aşınmalarla birleşerek genişliği 2-4 mm arası çizgisel bir aşınma izi şeklini almaktadır (Resim 7). 2. bölgede ise, kuru sürtünmeden kaynaklanan aşınma daha etkilidir. Bu durumda kurbalarda oluşan temastan dolayı, yüklerinin, çevresel hızın ve arada oluşan partiküllerin etkisi ile abrasiv ve adhesiv aşınmalar kendini göstermektedir (Resim 8). 3. bölgede ise adhesiv ve abrasiv aşınma türleri etkilidir. Ezilme şeklinde plastik deformasyon oluşmuştur (Resim 9).

Tekerlek Aşınması Testleri: Tekerlekleri yağlanmayan tren 11, 3011 nolu araç ile ön iki tekerleği yağlanan tren 29, 3029 nolu araç (Şekil 5) tekerlek aşınmasının belirgin olarak görülebileceği ilk 15000 km'den sonra 15000 km'lik artışlarla tekerlek çap ölçümlerine tabi tutulmuştur. Bu trenlerin tekerlek aşınma karşılaştırması Şekil 6'da sunulmuştur. Şekillerden anlaşılacağı üzere; tren 29'un (katı yağlamalı tren) tekerlek aşınmaları tren 11'in (yağlama yapılmayan tren) tekerleklerine göre azdır. Bu aşınma farkının yaklaşık %75'lik tekerlek ömrü artışına karşı geleceği daha önceki atelye bakım verilerinden anlaşılmaktadır.



Resim 5. Aşınma bölgelerinin fotoğraf görüntüsü ve şematik aşınma bölgeleri

Sıvı Yağlama ve Katı Yağlamanın Karşılaştırılması: Bu testler için katı yağlama yapan tren 29, 3029 nolu araç ve sıvı yağlama yapan tren 11, 3011 nolu araç (Şekil 7) seçilmiştir. Her iki trenin tekerlek çaplarının çok yakın değerlere sahip olmasına dikkat gösterilmiştir. Teste başlamadan önce tren 11 ve tren 29'un tekerlekleri yeraltı BSD tekerlek tornasında tornalanmıştır. Böylelikle aşınma miktarları aynı zaman aralıklarında ve eş çaplı tekerleklerde takip edilmiştir. Aşınmaların aynı

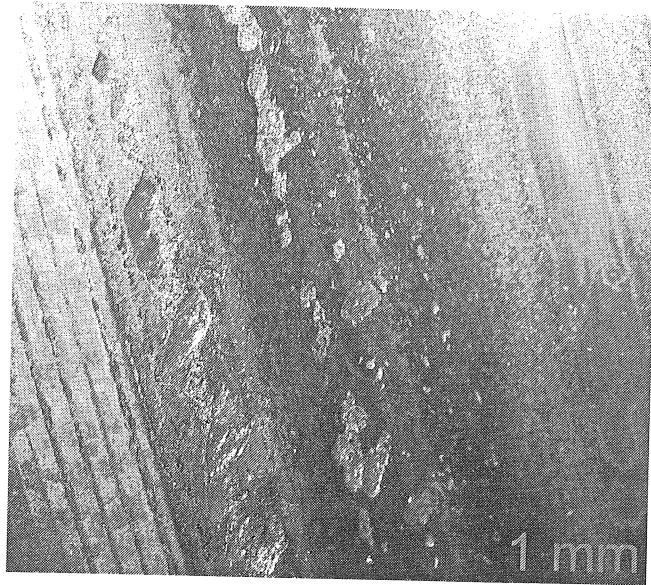
zaman periyodu içerisinde takip edilmesindeki amaç mevsimsel farklılıklardan dolayı oluşabilecek aşınma farklılıklarının en aza indirilmesidir. İki tren testler süresince mümkün olduğu kadar aynı günler ve saatler içerisinde servise verilmeye çalışılmıştır. Trenler belirli kilometrelerde servisten alınarak tekerlek aşınmalarının fotoğrafları çekilmiş ve yeraltı BSD tekerlek tornasında çap ölçümleri yapılmıştır. Deneylerde yeraltı BSD tekerlek tornasında her bir

tekerlek için tekerlek çapı (TÇ), boden kalınlığı (BK) ve boden yüksekliği (BY) ölçümleri alınmıştır. Ölçümler dokuz ay boyunca sürdürülmüştür.

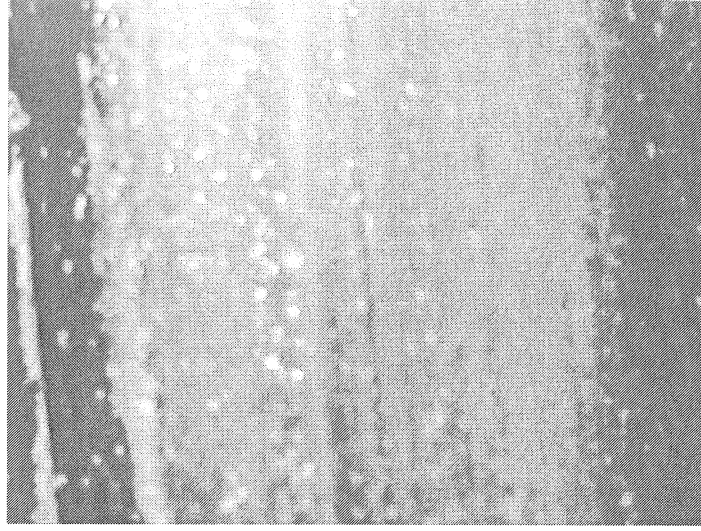
Şekil 8-13'den anlaşılacağı üzere, katı ve sıvı yağlamada tekerlek aşınmaları birbirine çok yakın değerlerdedir. Yapılan ölçümlerden tekerlek aşınması açısından sıvı yağlamanın katı yağlamaya belirgin bir üstünlüğü olmadığı tespit edilmiştir.



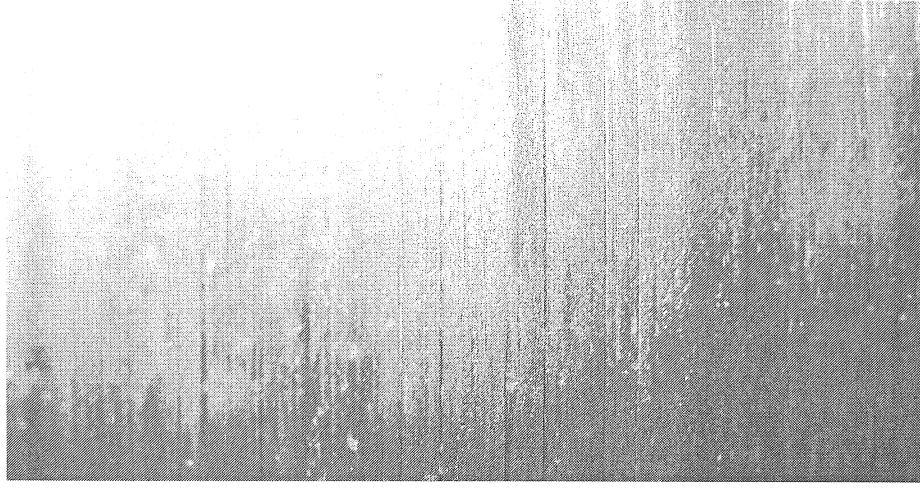
Resim 6. Malzeme yorulması a) Literatürde tanımlanan malzeme yorulma aşınması b) Ankara Metrosunda deneyler sonucu tespit edilen tekerlek aşınması



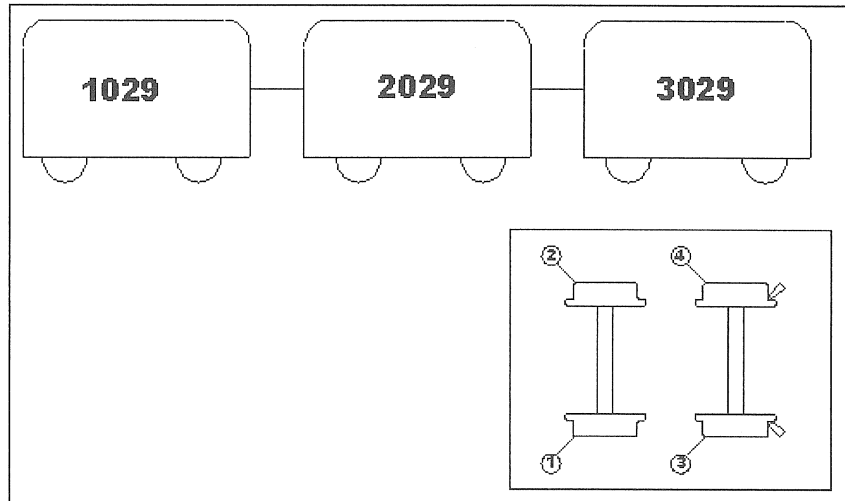
Resim 7. Bodende aşınmanın ilerleyişi



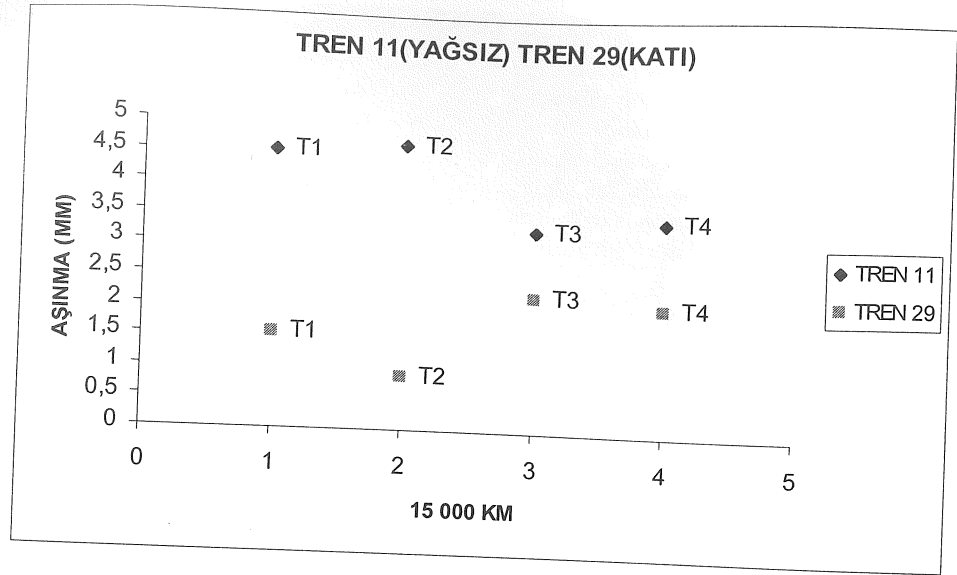
Resim 8. 2. bölgedeki aşınma



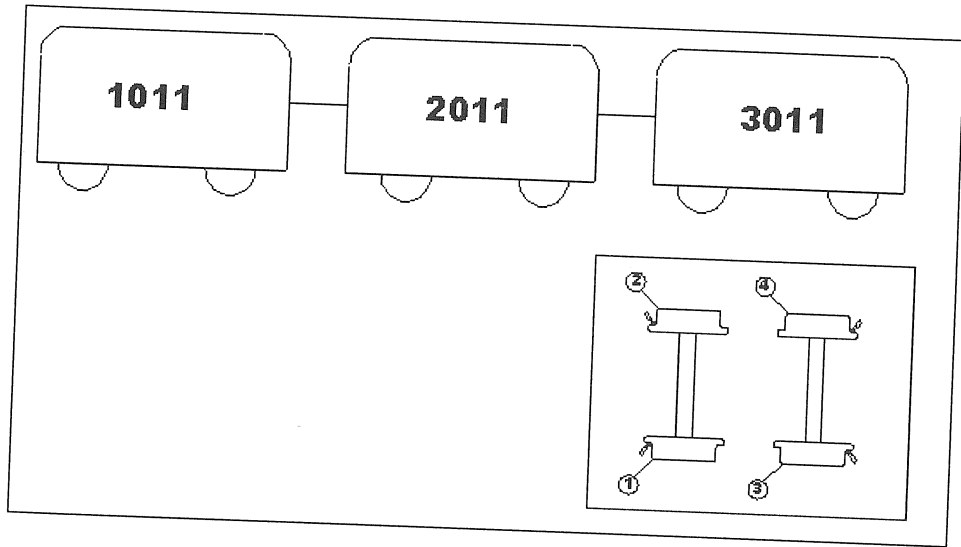
Resim 9. 3. bölgedeki aşınma



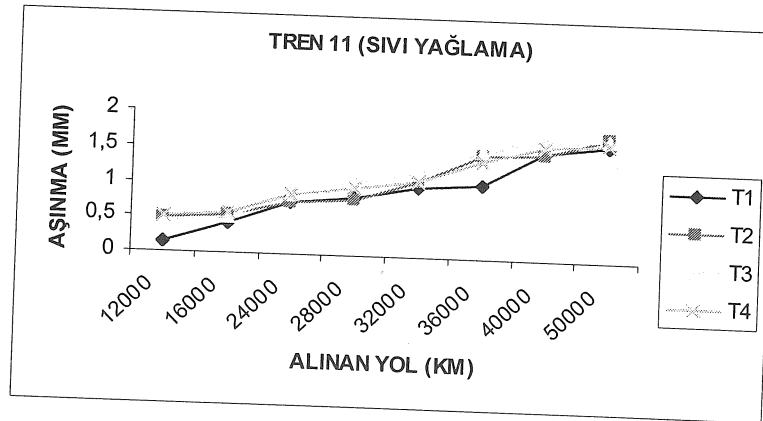
Şekil 5. Tekerlek aşınma testlerinde kullanılan 29 nolu tren konfigürasyonu ve tekerleklerin numaraları



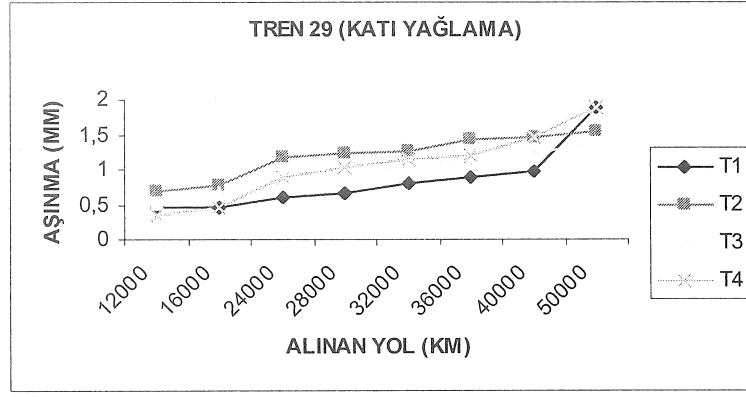
Şekil 6. Tren 11(yağsız) ile Tren 29 (katı)'un 15 000 km' de tekerlek aşınmaları



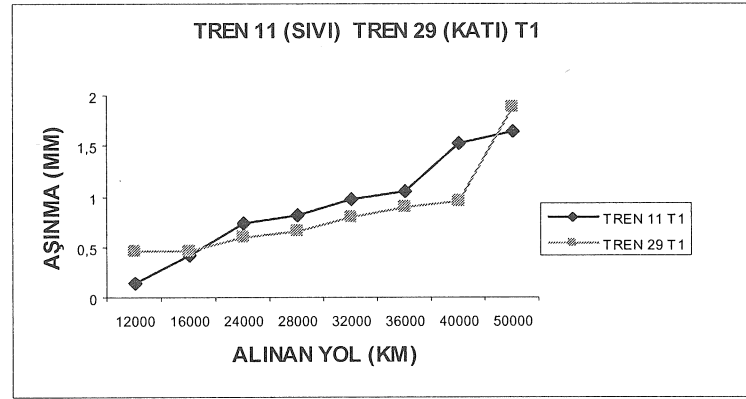
Şekil 7. Tren 11'de sıvı yağlama yapılan tekerlekler



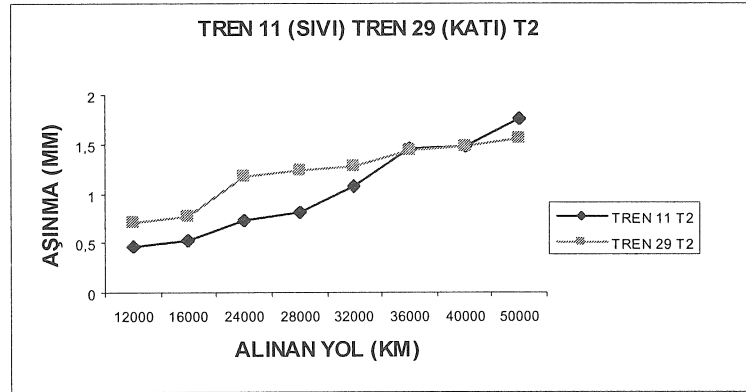
Şekil 8. Tren 11'e (sıvı yağlama) ait tekerlek aşınmaları



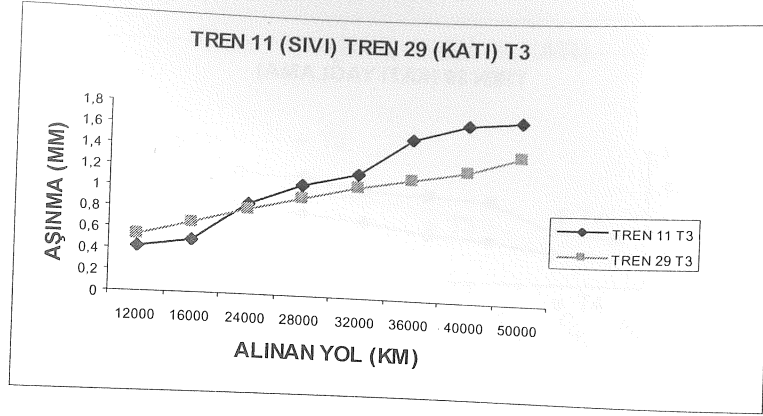
Şekil 9. Tren 29'a (katı yağlama) ait tekerlek aşınmaları



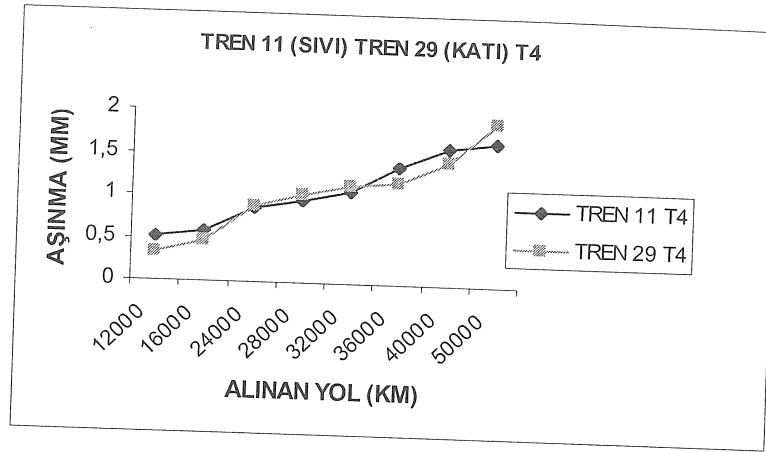
Şekil 10. Tren 11 ve tren 29'a ait 1 nolu tekerlek aşınmalarının karşılaştırması



Şekil 11. Tren 11 ve tren 29'a ait 2 nolu tekerlek aşınmalarının karşılaştırması



Şekil 12. Tren 11 ve tren 29'a ait 3 nolu tekerlek aşınmalarının karşılaştırması



Şekil 13. Tren 11 ve tren 29'a ait 4 nolu tekerleklerin aşınmalarının karşılaştırması

8. SONUÇ

Ankara Metrosu trenlerinde yapılan 12 ay süren gözlemler ve testler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

1) Tekerlekleri kuru yağlanan tren ile yağlanmayan tren tekerlekleri arasındaki aşınmalar karşılaştırıldığında kuru yağlamalı tren tekerlerinde daha az aşınma tespit edilmiş olup bu aşınma farkı kuru yağlanan tren tekerleklerinde %75'lik bir tekerlek ömür artışına karşılık gelmektedir.

2) Sabo frenleme sisteminde uygulanan sıvı yağlamanın tekerlek kaymasına sebep olmadığı anlaşılmıştır. Bu da sabo frenleme sisteminin kullanıldığı trenlerde, sıvı yağlama sisteminin katı yağlama sistemiyle aynı etkinlikte kullanılabileceğini göstermiştir.

3) Katı ve sıvı boden yağlama sistemi ile yapılan deneyler sonucunda tekerlek boden bölgesi aşınma miktarları birbirine oldukça yakın bulunmuştur. Bu sonuçlar iki yağlama sisteminin tekerlek aşınması açısından birbirine üstünlük sağlamadığını göstermektedir. Ancak diğer hususlar (maliyet,

bakım, kirlilik, gürültü vb.) işletmeler açısından önemli derecede sorun yaratıyorsa gerekli araştırmalar yapılarak sıvı yağlama sistemine geçiş yapılabilir. Ankara Metrosunda katı ve sıvı yağlama sistemlerinin kurulum ve işletim giderlerinde yapılan karşılaştırma, sıvı yağlamanın maliyetinin daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Sıvı yağlamanın uygulanabilirliği ile ilgili olarak sürdürülen bu çalışmada sadece bir bojiye sıvı yağlama takılmıştır. Ankara Metrosunda bulunan toplam 216 adet bojiye sıvı yağlama sistemi takıldığında oluşabilecek sıvı yağlamanın tekerlek aşınmasına en çok sebebiyet veren tekerlek kaymasını arttırması ihtimali gözden kaçırılmamalıdır.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF SOLID AND LIQUID LUBRICATION ON WHEEL WEAR IN ANKARA METRO TRAINS

Lubrication is used in metro and railway systems to reduce rail-wheel wear. Today, no standart has been established for wheel flange lubrication systems and type of lubricants to be used and which lubrication

systems and lubricants are effectively used with which railway system can't be determined without tests on site. In this study, wheels with solid lubrication is compared with the ones without lubrication and liquid lubrication is compared with solid lubrication systems considering the wheel wears. In the first experiment, which is done in the Ankara Metro with the sabo braking system, the applicability tests of liquid lubrication were done. In the second part of the experiment, train without a lubrication system is compared with a train with solid lubrication by making the wheel wear measurements with the wheel lathe machine. In the third part of the experiment, the wheel wears with a solid lubrication system and with a liquid lubrication system were examined with the photographs and measurements taken on the wheel.

Keywords: solid lubrication, liquid lubrication, flange lubrication, wheel wear

Teşekkür: Yazarlar, bu çalışma süresince tesislerinin kullanmasına müsaade eden ve yardımlarını esirgemeyen Ankara Metrosu personeline teşekkürü borç bilirler.

KAYNAKÇA

1. Dearden, J., "The Wear of Steel Rails and Tyres in Railway Service", *Wear*, 3: 400-409 (1960).
2. Steele, R. K., "Observation of in Service Wear of Railroad Wheels and Rails Under Condition of Widely Varying Lubrication", *ASLE Transactions*, 25(3): 400-409 (1982).
3. McEwen, I. J., Harvey, R. F., "Full- scale Whell- on Rail Testing: Compasisions with Service Wear and Developing Theoretical Predictive Model", *Lubrication Engineering*, 41(2): 80-88 (1985).
4. Kumar, S., "Wheel- Rail Contact Wear Work and Lateral Force for Zero Angle of Attack – A Lobarotory Study", *Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, Transaction of The ASME*, 106: 319-326 (1984).
5. Beagley, T. M., "Severe Wear of Rolling/Siliding Contacts", *Wear*, 36: 317-335 (1976).
6. Bolton, P. J., Clayton, P., "Rolling- Sliding Wear Damage in Rail and Tyre Steels", *Wear*, 93: 145-165 (1984).
7. Krause, H., Poll, G., "Wear of Wheel-Rail Surfaces", *Wear*, 113: 103-122 (1986).
8. Garnham, J. E., Beynon, J. H., "Dry Rolling-Sliding Wear and Pearlitic Steels", *Wear*, 57: 81-109 (1992).
9. Telliskivi, T., Olofsson, U., "Contact Mechanics Analysis of Measured Wheel Rail Profiles Using the Finite Element Method", *Proceeding of the IMechE, Part F Journal of Rail and Rapid Transit*, 215: 65-72 (2001).
10. Deters, L., Proksch, M., "Friction and wear of rail and wheel meterial", *Proceeding of CM2003, 6th International Conference on Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, Göteborg, 1:175-181 (2003).
11. Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryolları, "Ray- Tekerlek Aşınmaları Araştırma Raporu", *TCDD raporu, Ankara*, 2-10 (1999).
12. Kapoor, A., Fletcher, D.I., Schmid, F., Sawley, K.J., Ishida, M., "Tribology of Rail Transport", *Modern Tribology Handbook*, ABD ,1271-1330 (2001).
13. Steele, R. K., Devine, T. J., "Wear of rail/whell systems" in *Proc. Int Symp. Contact Mechanics and Wear of Rail/Wheel Systems*, Kanada, 293-315 (1982).
14. Olofsson, U. and Telliskivi, T., "Wear, friction and plastic deformation of two rail steels-full scale test and laboratory study", *Wear*, 254: 80-93 (2002).
15. Nilsson, R., "Wheel Rail Wear and Surface Cracks", *Licentiate Thesis, KTH*, Stockholm, 1-10 (2003).
16. Waara, P., "Wear Reduction Performance of Rail Flange Lubrication", *Licentiate thesis LTU, Mechanical Engineering* (2000).
17. Cantara, F., "Investigation of wheel flange wear on the Santander FEVE rail – a case study" *Wear*, 162: 975-979 (1973).
18. Bombardier Inc. "Demiryolu Araçları" *ART Sistemi Tasarım El Kitabı TR 250 I-C 001, Bombardier*, Kanada, 5-6 (1993).
19. Bombardier Inc., "Geometrik Tasarım Kriterleri", *ART Sistemi Tasarım El Kitabı, Bombardier*, Kanada, 72 (1993).

Alaittin Elhan
Prof. Dr.
Anatomi Anabilim Dalı Başkanı
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ankara

İbrahim Tekdemir
Prof. Dr.
Anatomi Anabilim Dalı
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ankara

Ayhan Cömert
Dr.
Anatomi Anabilim Dalı
Ankara Üniversitesi Tıp Fakültesi
Ankara

Murat Bozkurt
Doç. Dr.
Sağlık Bakanlığı Dışkapı Yıldırım
Beyazıt Eğitim ve Araştırma
Hastanesi
III. Ortopedi Klinik Şefi
Ankara

Ergin Tönük
Y. Doç. Dr.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Gürol İpek
Makina Yüksek Mühendisi
BIAS A. Ş.
ODTÜ Teknokent
Ankara

Yumuşak ve Sert Doku Malzeme Deney Sistemi için Elektronik Veri Toplama Birimi Tasarım ve Uygulaması

Gerek yumuşak ve sert dokuların gerekse eklem gibi sistemlerin kontrollü koşullarda yüklenmesi ve yükleme karşısında mekanik tepkisinin ölçülmesi hem anatomik hem de biyomekanik çalışmalarda önemli bir yer tutar.

Bu amaçla kullanılan Ernst Leitz Wetzlar deney sisteminde hareket bir kol aracılığıyla elle verilmekte, kolun attığı tur sayısı ile deney örneğindeki uzama kestirilmekte, deney örneğine bağlı yaylı el kantarı ile uygulanan kuvvet ölçülmekteydi. Kuvvet ölçümünün yaylı el kantarı ile yapılması hem kuvvet ölçümünün istenen hassasiyette yapılamamasına neden olmakta hem de kantarın ucunda kuvvete bağlı olarak oluşan ihmal edilemeyecek düzeydeki yer değiştirme nedeniyle deney örneğindeki uzamanın hassas olarak belirlenebilmesi güçleşmekteydi.

Bu çalışma kapsamında, ülkemizde üretilen gerinim ölçer tabanlı yük (kuvvet ölçüm) hücresi ve hazır alınan doğrusal yer değiştirme ölçer aracılığıyla deneyler sırasında deney örneği üzerinde oluşan kuvvet ve yer değiştirme bilgisi eskisine kıyasla daha hassas olarak ölçülerek bilgisayar ortamına eşzamanlı olarak aktarılabilmekte, hazırlanan arayüz programı ile bu verilerin zaman içerisindeki değişimleri incelenebilmekte, kolaylıkla değişik grafiklerle temsil edilebilmekte ve daha ileri çözümler için yazı tabanlı dosyalarda saklanabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak ve sert doku deneyleri, çekme deneyi, basma deneyi, kopma deneyi.

1. GİRİŞ

Bu çalışmada değişik malzeme örneklerini bağlamak için farklı çenelere sahip, deney sırasında 200 mm yer değiştirme yapabilen ve birkaç milimetreden 300 mm'ye kadar değişik uzunluklarda örnekler üzerinde çekme, basma ve kopma deneyleri yapabilen, elle tahrik edilen, deney örneğinin tepki kuvveti yaylı el kantarıyla ölçülen Ernst Leitz Wetzlar masa üzeri deney sisteminin temel ekipmanları kullanılmıştır. Sistemin mevcut haliyle temel üç sakıncası bulunmaktaydı:

- Deney örneğinin tepki kuvveti, hassasiyeti ve çözünürlüğü düşük, tam kapasitesi 50 kg_f (yaklaşık 500 N) olan bir yaylı el kantarıyla ölçülmekteydi,

- Deney örneğindeki uzama miktarı elle tahrik edilen kolun tur sayısı ile kestirilmekte ancak yaylı el kantarında oluşan ihmal edilemeyecek uzama nedeniyle örnekte oluşan uzama kestirilenden daha az olmaktadır,
- Deney örneğindeki uzama ile tepki kuvvetinin deney sırasındaki değişimi veya kopma deneylerinde kopma anındaki tepki kuvvetinin yaylı el kantarından gözle okunarak tam olarak belirlenmesi güç olmaktadır.

Bu sakıncaların ortadan kaldırılması için tepki kuvveti ölçümünün yaylı el kantarına göre daha hassas ve uzaması ihmal edilebilecek kadar küçük bir sistemle yapılması, deney örneğindeki uzamanın hassas olarak ölçülmesi, yapılan hassas kuvvet ve

uzama ölçümlerinin eş zamanlı ve gerek duyulan yüksek örnekleme hızlarında bilgisayara aktarılmasının uygun olacağı düşünülmüş ve bu yönde sistem tasarımı ve bileşen seçimine başlanmıştır.

2. SİSTEM TASARIMI

Deney Örneğindeki Uzamanın Ölçümü

Kuvvet ölçüm sisteminin yeterli rijidlikte olduğu çoğu deney sisteminde, deney örneğinin uzaması sistem çenelerinin yer değiştirmesine eşit kabul edilir. Bu durumda çenelerden birinin bağlı olduğu deney sisteminin sabit kısmı referans olarak alınarak hareketli çenenin yer değiştirmesini ölçmek üzere 200 mm yer değiştirme kapasitesine sahip bir doğrusal yer değiştirme algılayıcı (LDS, *linear displacement sensor*, Penny+Giles, SLS190/2008K/L66/1 KP 31282) ve bu algılayıcıya ait sinyal şartlandırıcısı seçilmiş, sistemin sabit ve hareketli parçaları arasına, hareketli çenenin hareketi yönünde monte edilmiştir. Algılayıcının üretici tarafından deklare edilen doğrusallığı % 0.15, ölçümün tekrar edilebilirliği -30 ile 100°C sıcaklık aralığında 0.01 mm, yer değiştirme çözünürlüğü ise sonsuzdur.

Deney Örneği Tepki Kuvvetinin Ölçümü

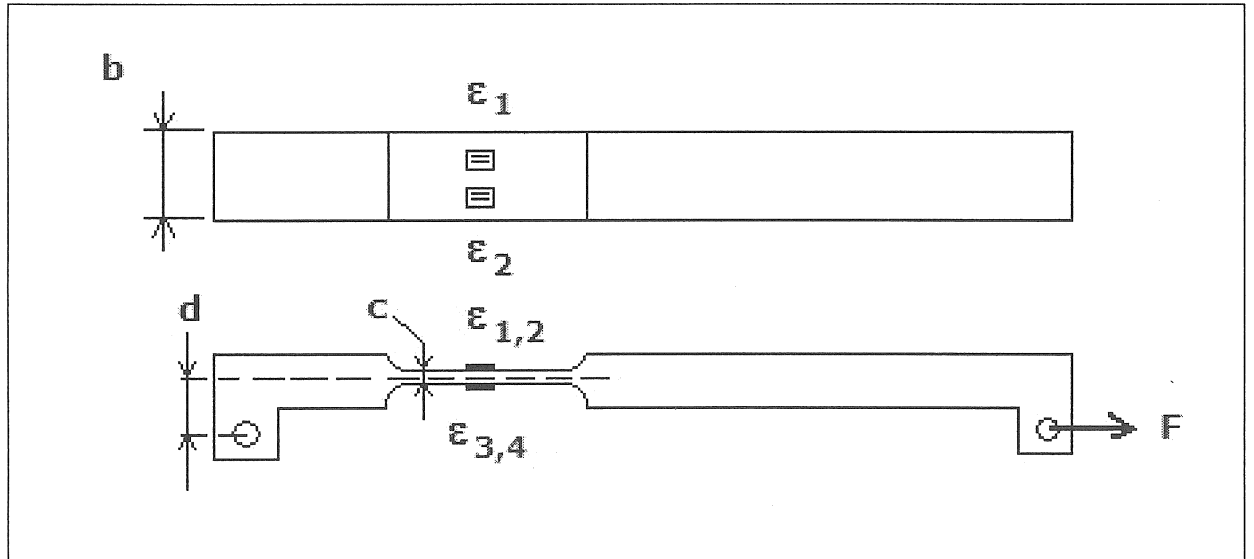
Değişik büyüklük ve elastik özelliklerdeki deney örnekleri üzerinde hassas deneyler yapabilmek üzere üç farklı kapasitede yük (kuvvet ölçüm) hücresi tasarımı öngörülmüştür. Bunlar gerinim ölçer tabanlı, 10, 100 ve 1 000 N kapasiteli olarak seçilmiştir. Bu

tür deney sistemlerinde özellikle hatalı kullanımda hasar görmeye en açık elemanlar yük hücreleri olduğu için, ayrıca bu tür ticari yük hücrelerinde alım maliyetinin çok yüksek olması buna karşılık yük hücresi üretim teknolojisine ülkemizde de sahip olunması nedeniyle yerli olanaklarla tasarım ve üretimine karar verilmiştir. Bu çalışmada sadece 100 N kapasiteli yük hücresi ile ilgili tasarım ayrıntıları sunulmuş olup 10 ve 1000 N kapasiteli olanlar için de sunulan yöntem izlenmiştir.

Yük hücresi tasarımı: Mevcut deney sisteminin geometrisi ve yük hücresi yapacak araştırma grubunun deneyimleri ışığında yük hücresinin kaçık geometri ile çekmeyi eğilmeye çeviren ve eğilmede serbest yüzeylerden birinin uzama diğerinin kısalma durumunda olduğu yük hücresi tipi seçilmiştir (Şekil 1).

Yük hücresi ölçüleri belirlenirken kimi ölçüler mevcut cihaza bağlanma gerekliliği nedeniyle doğrudan seçilmiş, diğer ölçüler ise tasarım hesapları ve çeşitli tasarım kriterlerinden sonra belirlenmiştir. Şekil 1'de gösterilen b, c ve d ölçüleri temel tasarım ölçüleri olduğu için tasarıma bu ölçülerle başlanmıştır.

Genel kabul gören yaklaşım [1], yüklerin ölçüleceği yerlerde ölçülecek en yüksek yükte gerinme değerinin 500 $\mu\epsilon$ civarında olmasıdır. Ancak yük hücresinin yanlış kullanımlara karşı dayanıklı olması istendiği için bu değer yarısı kabul edilmiş ve hesaplar 250 $\mu\epsilon$ değerine göre yapılmıştır. Yük hücresinin yapıldığı çelik malzemenin akma gerinmesinin 2 m ϵ civarında [2] olduğu göz önüne alındığında yük hücresinin, teorik olarak tasarım yükünün sekiz katına kadar bir yükte bile hasar



Şekil 1 Yük hücresi geometrisi ve gerinim ölçerlerin hücre üzerindeki yerleri

görmeyeceği açıktır. Yapılan hesaplar sonucu üç farklı tipteki yük hücresine ait ölçüler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Yük hücresi ölçüleri

Yük Hücresi Tipi	10 N	100 N	1000 N
b [mm]	26.70	26.70	26.70
c [mm]	1.00	3.00	7.00
d [mm]	20.50	20.50	20.50

Değişik kapasitedeki yük hücreleri için Tablo 1'de verilen ölçülerle eğilme gerilmesi ve gerinmesi şu şekilde hesaplanır [3]:

$$\sigma_E = \frac{M \frac{c}{2}}{I} \quad (1)$$

(1) numaralı denklemde

$$M = Fd \quad (2)$$

ve

$$I = \frac{1}{12} bc^3 \quad (3)$$

Bu değerler (1) numaralı denkleme girildiğinde aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\sigma_E = \frac{6Fd}{bc^2} \quad (4)$$

100 N kapasiteli yük hücresi için ölçüler girildiğinde $\sigma = 0.5119F$ değeri elde edilir. Burada σ MPa, F N cinsindedir.

Ancak yük hücresi eğilmeye ek olarak aksel bir yük de taşır. Aksel yük için gerilme şu şekilde hesaplanır:

$$\sigma_e = \frac{F}{bc} \quad (5)$$

Malzemenin akma sınırına yakınlığının kontrol edilmesi için 100 N kapasiteli yük hücresi için ölçüler (5) numaralı denkleme girildiğinde $\sigma_e = 0.01248F$ değeri elde edilir. Yük hücresinin yapıldığı malzemenin çekmede göreceği en büyük gerilme değeri eğilmeden ve çekmeden ötürü oluşan gerilmeler sonucu şöyle hesaplanır:

$$\varepsilon_{max} = \frac{1}{E} (\sigma_E + \sigma_e) \quad (6)$$

(6) numaralı denklemde 100 N kapasiteli yük hücresi için değerler ve çelik malzeme için $E = 200$ GPa değeri girildiğinde, istendiği gibi, yaklaşık 250 $\mu\epsilon$ değeri bulunur.

Yük hücresinin alt ve üst yüzlerindeki ikişer adet gerilme ölçer eğilmeyi ölçmek üzere birbirlerine tam Wheatstone köprüsü biçiminde bağlanmışlardır. Şekil 1'de gösterildiği gibi yük hücresinin bir yüzündeki gerilme ölçerler 1 ve 2, diğer yüzündeki gerilme ölçerler 3 ve 4 olarak numaralandığında ölçülen gerilmeler:

$$\varepsilon_1 = -\varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7a)$$

$$\varepsilon_2 = -\varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7b)$$

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7c)$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_E + \varepsilon_e \quad (7d)$$

ve tam köprü tarafından ölçülen gerilme de:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 - \varepsilon_3 - \varepsilon_4 \quad (8)$$

olur. (7a)-(7d) denklemlerine girildiğinde:

$$\varepsilon = 4\varepsilon_E \quad (9)$$

olur. Tam köprü yapı aksel yüklerle duyarız olduğu gibi sıcaklık değişmesi sonucu oluşan genleşmeye de duyarlıdır.

Denklem (9)'dan da görüldüğü gibi oluşan çekme (veya basma) yönündeki gerilmeler ters işaretli oldukları için birbirini götürür ve elektriksel sinyal çıkışında görünmez [4-5]. Bu durumda Wheatstone köprüsünün çıkış gerilimi:

$$V_k = V_{cc} G\varepsilon \quad (10)$$

olur. Burada V_{cc} Wheatstone köprüsünün besleme gerilimi (5 V), G gerilim ölçer katsayısıdır (2.10). Bu değerler (10) numaralı denkleme girildiğinde köprünün çıkış gerilimi için

$$V_k = 25.2\varepsilon \quad (11)$$

elde edilir. 500 $\mu\epsilon$ için 6.3 mV köprü çıkış gerilimi elde edilir. Bu elektrik gerilimi gerek veri toplama kartında hassas bir sayısallaştırma için yetersiz olduğundan gerekse elektriksel parazite açık olduğundan kazancı 500 olan bir yükselticiden (Entran, Model: IAMR-28U/05/500-WW, Seri No: PO4873) geçirildikten sonra veri toplama kartına bağlanmıştır. Bu durumda, 500 $\mu\epsilon$ için 3.15 V gerilim elde edilmektedir. Yükseltici, 12 V DC gerilim ile beslenmekte, Wheatstone köprüsünü ise 5 V ile kendisi beslemektedir.

Yük hücresi kalibrasyonu: Yük hücresinin tasarımı sırasında kullanılan denklemler ile yük hücresinin verdiği gerilimin ne kadar yüke karşılık

kişer
erine
ırdır.
bir
deki
ında

7a)
7b)
7c)
7d)

(8)

9)

sız
an

an
rs
el
la

)

e
ı
e

geldiği kestirilebilir. Ancak bu denklemler hem yük hücresi ölçülerinin hem de yük hücresinin yapıldığı malzemenin elastik modülünün tam ve kesin olarak bilindiğini varsaymaktadır. Gerek yük hücresi ölçülerinde üretim hassasiyeti nedeniyle oluşabilecek farklılıklar gerekse kullanılan çelik malzemenin elastik modülünde olabilecek farklılıklar ile yük hücresi ölçümlerinin hesap yoluyla kestirilen değerden hem de doğrusallıktan sapıp saptadığını gözlemek için yük hücreleri Lloyd biyomekanik malzeme deney cihazı ve bu cihaza ait 2 kN kapasiteli yük hücresi ile kalibre edilmiştir. 100 N kapasiteli yük hücresinin 500 N yüke kadar hem yük arttırmada hem de yük eksiltmede doğrusallıktan sapmasının ihmal edilebilir düzeyde olduğu ($R^2 = 0.9998$ ve 0.9994), kalibrasyon sabitinin de hemen hemen aynı değerde (17.070 ve 16.829 N/mV) olduğu görülmüştür (Şekil 2).

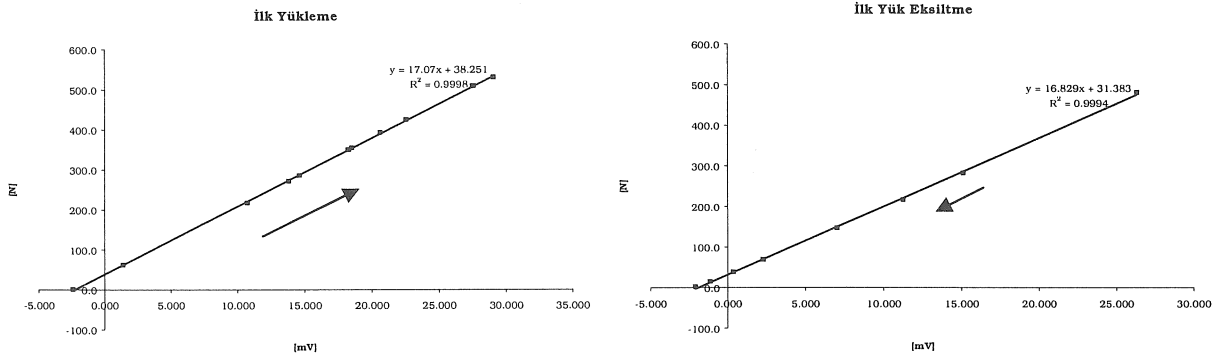
Deney Verilerinin Bilgisayara Aktarımı

Veri toplama kartı: Deney sistemi üzerine eklenen yük hücresi ve doğrusal yer değiştirme ölçerden elde edilen elektriksel sinyaller National Instruments PCI 6023E veri toplama kartı kullanılarak sayısallaştırılıp bilgisayara aktarılmaktadır. Anılan veri toplama kartı 16 kanallı tek ortak uçlu veriyi veya 8 kanallı çift uçlu veriyi saniyede 200 000 veriye kadar 12 bit çözünürlükte (± 1 least significant bit hassasiyetinde) sayısallaştırarak ve ± 50 mV (24.4 μ V/bit) ile ± 10 V (4.88 mV/bit) tam skala aralıklarında alabilmektedir. Yük hücresi ile doğrusal yer değiştirme algılayıcısının elektriksel sinyalleri çift uçlu olarak kartın girişlerine bağlanmıştır.

Deney sistemi bilgisayarı: Veri toplama işleri için teknolojik ömrünü büyük ölçüde doldurmuş, Intel Celeron 366 MHz işlemcili, 128 MB bellekli, ve 3 GB sabit diske sahip bir bilgisayar kullanılmıştır. Bilgisayara işletim sistemi olarak Windows 2000 Professional ve yazılım olarak da Matlab® 6.1 yüklenmiş, yerel ağ üzerinden ham deney verileri diğer bilgisayarlara aktararak burada işlenmiştir. Yük hücresinin yükselticisi ile doğrusal yer değiştirme algılayıcısının gereksinim duyduğu 12 V DC besleme, deney sistemi bilgisayarının güç kaynağından sağlanmıştır.

Deney sistemi arayüz yazılımı: Deney sistemi arayüz yazılımı, deney bilgisayarı üzerinde bulunan Matlab® 6.1 yazılımı kullanılarak ilerideki gereksinimler doğrultusunda geliştirilmek üzere modüler olarak hazırlanmıştır.

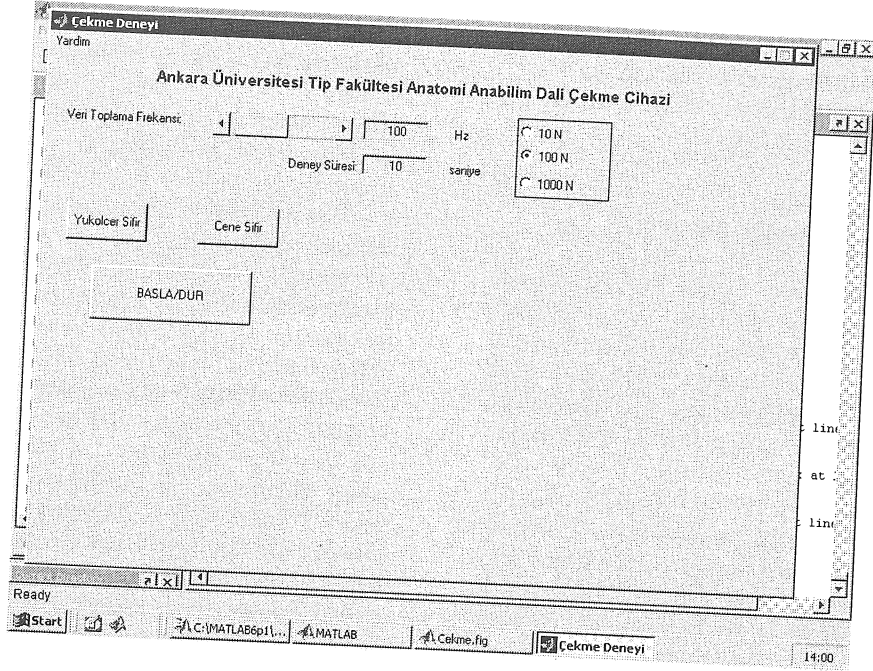
Deney arayüz programının bu sürümünde, sisteme takılı olan yük hücresinin kapasitesini seçmek için 10, 100, 1000 N yük ölçer seçenekleri vardır. Ayrıca değişik uygulamalar için veri toplama frekansının ayarlanabildiği sürgülü bir düğme ve deney süresinin belirlendiği bir pencere vardır (Şekil 3). Deney örneği çenelere bağlandıktan ve uygun konuma getirildikten sonra mevcut konum ve yükü sıfır kabul etmek için "Yükölçer Sıfır" ve "Çene Sıfır" düğmeleri tıklanır. Veri toplamaya başlamak için "BAŞLA/DUR" düğmesi tıklanır ve deney sistemi elle tahrik edilerek oluşan yer değiştirme ve tepki kuvveti kaydedilir. Belirlenen sürenin sonuna gelindiğine deney sistemi veri almayı otomatik olarak keser. Bu süreden önce veri almaya son vermek için basılı durumda bulunan "BAŞLA/DUR" düğmesi yeniden tıklanabilir.



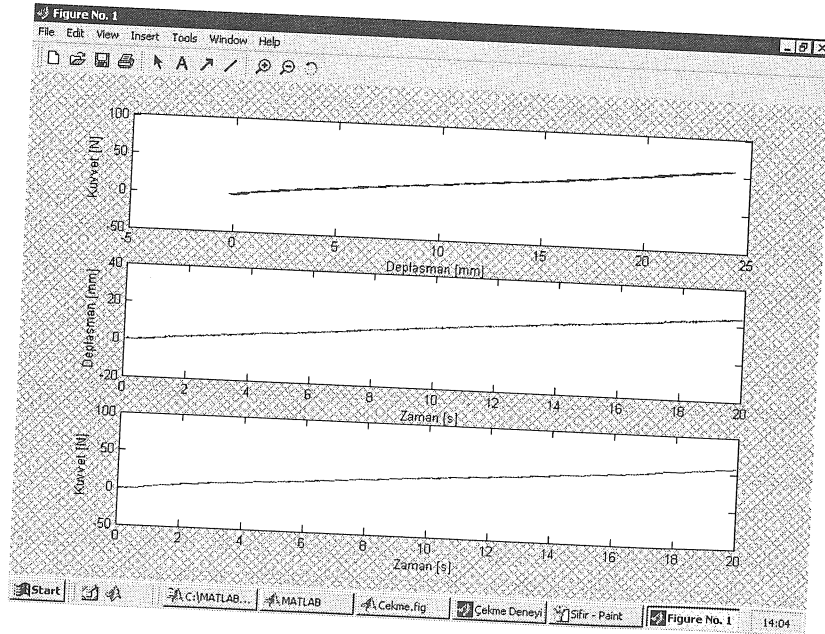
Şekil 2 100 N kapasiteli yük hücresinin yükselticisiz kalibrasyon eğrileri (solda yük arttırma, sağda yük eksiltme durumunda)

Deney bitiminde alınan ham veriler (zaman [s], yer değiştirme [mm] ve tepki kuvveti [N]) daha ileri çözümlemesinin yapılabilmesi için yazı dosyası olarak kullanıcı tarafından belirlenen bir dizine kaydedilir ve deneyin sağlıklı yapıp yapılmadığı hakkında hemen fikir verebilmek için kullanıcıya grafik olarak sunulur (Şekil 4). Bu grafikler sırasıyla, malzeme elastik özellikleriyle ilgili bilgi veren kuvvet-yer değiştirme (deplasman) grafiği, cihazın elle tahriği hakkında bilgi veren yer değiştirme-zaman grafiği ve tepki kuvveti-zaman grafiğidir.

Deney sisteminin genel görünüşü Şekil 5'te sunulmuştur. Sistemin hareketini sağdaki kol sağlamaktadır. Deney örneği, kol tarafından hareket ettirilen ve yük hücresinin de üzerinde bulunduğu hareketli parça ile sistemin en solunda bulunan sabit parça üzerindeki çenelere bağlanabilmektedir. Sistemin, değişik örneklerin bağlanabilmesine olanak tanıyan farklı çeneleri bulunmaktadır.

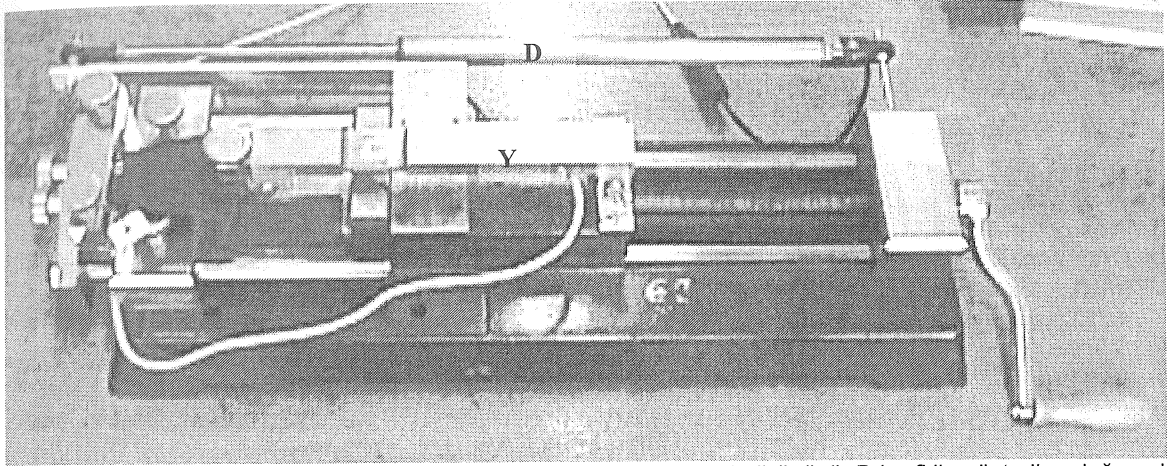


Şekil 3 Deney sistemi arayüz penceresi



Şekil 4 Ham deney sonuçlarını sunan pencere

l 5'te
kol
areket
duğu
sabit
tedir.
lanak



Şekil 5 Elektronik veri toplama birimleriyle birlikte deney sisteminin genel görünüşü. D harfi ile gösterilen doğrusal yer değiştirme ölçer, Y ile gösterilen ise elektronik yük hücresidir.

3. SONUÇ

Mevcut Ernst Leitz Wetzlar mekanik çekme cihazına takılan 200 mm kapasiteli elektronik yer değiştirme ölçer ve 10, 100 ve 1000 N kapasiteli yük hücresi sayesinde mekanik çekme cihazından gelen deney örneğine ait uzama ve tepki kuvveti bilgileri hazırlanan arayüz yazılımı aracılığıyla eşzamanlı olarak bilgisayar ortamına aktarılmış, deney sırasında elde edilen tepki kuvveti-uzama, uzama-zaman ve tepki kuvveti-zaman grafikleri yapılan deneyin kalitesi ile ilgili fikir vermesi amacıyla hemen ekranda gösterilmiştir. Öte yandan farklı yazılımlarla daha ileri incelemelerin yapılabilmesi için zaman, uzama ve tepki kuvveti bilgileri yazı dosyası olarak sabit diskte istenen bir dizin altına saklanmıştır. Cihazın yeni durumuyla biyomekanik çalışma yapan kullanıcılara eskisinden daha hassas bilgiler sağlayacaktır.

Cihazı kullanacak araştırmacılardan gelen talepler doğrultusunda arayüz yazılımında, cihazın deney örneklerini tutan çene çeşitlerinde değişiklikler yapılabilir, farklı kapasitede yük hücreleri sisteme eklenebilir. Mevcut veri toplama kartı ve arayüz yazılımı, gerek duyulması halinde deney sisteminin bir adım motor ile istenen hızda tahrik edilmesine olanak verecek özelliktedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK SBAG-AYD-479 kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, üretilen yük hücrelerinin kalibrasyonunu ODTÜ Mühendislik Bilimleri Bölümü Biyomekanik Laboratuvarında gerçekleştiren Y. Doç. Dr. Senih Gürses'e teşekkür eder.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A DATA ACQUISITION SYSTEM FOR SOFT AND HARD TISSUE TESTING SYSTEM

Mechanical testing of soft and hard biological tissues as well as biological systems like joints under

controlled conditions is important both anatomically and biomechanically.

Till now, Ernst Leitz Wetzlar equipment was utilized for the mechanical tests. This equipment was driven by a hand-crank and the displacement applied to the test specimen was calculated by counting the number of revolutions of the hand crank whereas the load on the test specimen was measured by a spring-scale. Spring-scale is not a precise equipment, further, there is a considerable amount of elongation which deteriorates the calculated displacement of the test specimen.

Within the scope of this study, strain gauge based loadcell was produced in Turkey and an off-the-shelf linear displacement sensor (LDS) was mounted on the existing equipment. Using the computer interface developed within the scope of this study, the reaction force and elongation of the specimen data can be logged to a computer simultaneously and can be either represented in different forms of graphs or saved to a text file for further analysis.

Keywords: Soft and hard tissue experiments, tension test, compression test, failure test.

KAYNAKÇA

- 1 *Strain Gage Based Transducers, Their Design and Consideration* Measurements Group, Inc., Raleigh, North Carolina 27611, USA.
- 2 Shigley, J. E., *Mechanical Engineering Design*, First Metric Edition, McGraw-Hill, Singapore, 1988.
- 3 Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., *Mechanics of Materials, Fourth Edition in SI Units*, McGraw-Hill, Singapore, 2006.
- 4 *Vishay Measurements Group, Micro-Measurements Catalog 500, Precision Strain Gages*, USA, TD, 2000.
- 5 *National Instruments Application Note 078*, <http://ni.com>, 1998.

Pınar Kafalı

Yük. Müh, Araştırma Görevlisi
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Ergin Tönük

Y. Doç. Dr.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Turgut Tümer

Prof. Dr.
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Yürüyüş Analizi Uygulamalarında Değişik Eklem Merkezi Kestirim Yöntemlerinin Hesaplanan Eklem Kinematiğine Etkisi

Yürüyüş analizi uygulamalarında yüzey işaretleyici koordinatları kullanarak kestirilen kalça ve diz eklem merkezi konumlarının hesaplanan eklem kinematiği ve kinetiği sonuçları üzerinde doğrudan etkisi vardır. Bu çalışmada, literatürde genel kabul görmüş, kestirimci veya fonksiyonel, farklı kalça ve diz eklem merkezi belirleme yöntemleri ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uygulanarak, yöntemlerin sistemdeki performansları ve hesaplanan eklem kinematiğine etkileri araştırılmıştır. Seçilen yönteme bağlı olarak kestirilen eklem merkezi sonuçları arasında belirgin farklar bulunmuştur. Hesaplanan eklem açılarının da kullanılan eklem merkezi kestirim yöntemine bağlı olarak belirgin biçimde değiştiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yürüyüş Analizi, Kalça Eklem Merkezi, Diz Eklem Merkezi

1. GİRİŞ

Yürüyüş analizi uygulamalarında eklem merkezi koordinatlarının kestirimi önemli bir yer tutmaktadır. Eklem merkezi koordinatları, kinematik ve kinetik hesaplamalarda kullanıldığından, sonuçların güvenilirliği açısından eklem merkezlerinin hassas olarak kestirimi önemlidir [1]. Dolayısıyla bir yürüyüş analizi sistemi tarafından kullanılan eklem merkezi kestirim yöntemlerinin başarısı, sistem performansını da doğrudan etkileyen bir parametredir.

Yürüyüş analizi uygulamalarında kalça eklem merkezinin belirlenmesi için literatürde bulunan çalışmalar iki temel başlık altında incelenebilir. Bunlardan ilki, kestirimci yaklaşım olarak adlandırılır. Bu yaklaşımda, kadavra çalışmalarından [2] veya tıbbi görüntüleme teknikleri aracılığıyla [3-6] elde edilen ölçümler kullanılarak geliştirilen regresyon denklemleri, denek üzerinden alınan antropometrik ölçümler ve işaretleyici konumlarıyla bir arada kullanılarak kalça eklem merkezi hesaplanır. Kestirimci yöntemlerin uygulanması kolay olmakla beraber; hesaplamalarda kullanılan modellerin sınırlı sayıda sağlıklı yetişkinden alınan ölçümler temel alınarak geliştirilmiş olması nedeniyle bu yöntemlerin klinik uygulamadaki geçerliliği sağlıklı bireylerde olduğu gibi, özellikle de patolojik vakalarda tartışmalıdır [1]. Kalça eklemine küresel bir eklem olma özelliğini temel alan fonksiyonel

yaklaşımında ise, pelvis ve femur arasındaki bağlı hareket bilgisi kullanılarak kalça eklem merkezi hesaplanmaktadır. Literatürde mekanik eklemler kullanarak veya yürüyüş analizi deney verilerinden kalça eklem merkezinin kestirilmesi için farklı yöntemler önerilmiştir [7-11]. Fonksiyonel yöntemlerin kişiye özel hareket bilgilerini kullanmaları nedeniyle gerçekçi kalça eklem merkezi kestirimleri yapmaları beklenmekle birlikte; bu kestirimin hassas olabilmesi için deneklerin sajital ve transvers düzlemlerde yeterli bir hareket alanını kapsayan özel bir kalça hareketi serisi gerçekleştirmeleri gereklidir [9,10].

Diz eklem merkezi kestirimi için ise yaygın olarak anatomik nokta kalibrasyonu tekniklerini temel alan yöntemler kullanılmaktadır [7,12]. Bu yöntemle diz eklem merkezi statik deneyde diz üzerine yerleştirilmiş işaretleyicilerin koordinatlarından hesaplanmaktadır. Başka bir yöntem ise, ticari bir hareket analizi sistemi olan Vicon® Sistemi yazılımı (Vicon Clinical Manager – VCM) tarafından da kullanılan, femur üzerine yerleştirilmiş olan işaretleyici koordinatları kullanılarak doğrudan yürüyüş esnasında diz eklem merkezinin hesaplanmasıdır [13]. Vida eksen kavramını diz eklem eksen ve merkezi hesaplamalarına uygulayan yaklaşımlar da literatürde bulunmakla birlikte [14,15] vida eksen yaklaşımının klinik uygulamalarda kullanılması şimdilik mümkün olamamıştır.

Bu çalışmada, literatürdeki çeşitli kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uyarlanmış ve yapılan deneylerle yöntemlerin sistemde gösterdiği performans araştırılmıştır. Farklı yöntemlerden elde edilen eklem merkezi koordinatları kullanılarak eklem açıları hesaplanmış ve farklı eklem merkezi kestirim yöntemlerinin eklem kinematığı üzerine etkileri incelenmiştir.

2. YÖNTEM

Kalça ve diz eklem merkezlerinin kestirilmesi için üçer farklı yöntem seçilerek ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uyarlanmıştır. ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemi tarafından uzun süredir kullanılmakta olan kalça eklem merkezi kestirim yöntemi; pelvis üzerine yerleştirilen işaretleyici koordinatları, antropometrik ölçümler ve regresyon denklemleri kullanarak kalça eklem merkezini hesaplayan kestirimci bir yöntemdir [6] ve uygulama kolaylığı nedeniyle ticari sistemlerde de tercih edilmektedir. Bu çalışmada kalça eklem merkezi kestirimi için seçilmiş olan diğer iki yöntem ise, pelvis ve femur arasındaki bağıl hareket bilgisinden kalça merkezini farklı algoritmalarla hesaplayan fonksiyonel yöntemlerdir [9,10]. Diz eklem merkezi kestirimi için ise uygulanmış olan ilk yöntem, ODTÜ Yürüyüş Analizi Sisteminde kullanılan diz merkezleme cihazlarından yararlanarak diz eklem merkezinin kestirilmesidir [16]. Bu yöntem, lateral ve medial femoral epikondillerin merkezleme cihazı yardımıyla belirlenerek diz eklem merkezinin bu anatomik noktalara göre hesaplanması esasına dayanmaktadır. Benzer bir teknikte, merkezleme cihazı kullanılmadan işaretleyiciler doğrudan epikondillere tutturularak da diz eklem merkezi kestirilebilir [17]. Bu iki yöntemle eklem merkezinin belirlenmesi için denegin doğal dik durumda durduğu statik deneylerin gerçekleştirilmesi gereklidir. Diz eklem merkezi kestirimi için bu çalışmada uygulanmış olan son yöntem ise, ticari bir yürüyüş analizi sistemi olan VCM tarafından kullanılmakta olan ve diz eklem merkezini doğrudan yürüyüş verilerinden hesaplayan yöntemdir [13].

Seçilen eklem merkezi kestirim yöntemlerinin ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemindeki performanslarının incelenebilmesi amacıyla yürüyüş analizi deneyleri yapılmıştır. Deneyler ODTÜ Yürüyüş Analizi Laboratuvarında, daha önce kas-iskelet hastalığı ve yaralanma geçirmemiş gönüllü üç denekle yapılmıştır. Her denek için dört farklı kısımdan oluşan tek deney seansı gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Helen Hayes (HH) pasif yansıtıcı işaretleyici seti kullanılmıştır. Deneylerin ilk kısmında, diz ve ayak bileği merkezleme cihazları kullanılarak statik görüntü verisi alınmıştır. İkinci kısımda, merkezleme cihazları çıkarılarak lateral ve

medial femoral epikondillere nokta işaretleyiciler tutturulmuş ve yine statik görüntü verisi kaydedilmiştir. Statik kayıtlardan sonra, üçüncü kısımda, denekler fonksiyonel kalça merkezi belirleme yöntemleri için gerekli olan ve kalça fleksiyon/ekstansiyon, abduksiyon/addüksiyon ve sirkumdüksiyonu içeren özel bir kalça hareketi (ÖKH) serisi [9] gerçekleştirmişlerdir. Deneylerin dördüncü ve son kısmında ise deneklerin normal yürüyüşleri her seans için üç tane olmak üzere kaydedilmiştir.

Deneylerden elde edilen işaretleyici koordinat verileri Matlab® ortamında, bu çalışma kapsamında geliştirilmiş bir program ile analiz edilerek uygulanan kalça ve diz merkezi kestirim yöntemlerinin verdiği eklem koordinatları bulunmuştur. Fonksiyonel kalça eklem merkezi belirleme yöntemleri kullanılarak hem yürüyüş hem özel kalça hareketi verilerinden eklem merkez koordinatları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Özel kalça hareketlerinden elde edilen eklem merkezleri daha sonra yürüme deneyi verilerinden oluşturulan pelvis koordinat sisteminde ifade edilmiştir. Kestirimci kalça eklem merkezi belirleme yöntemi için ise sadece yürüyüş verileri kullanılmıştır.

Merkezleme cihazları ile ve doğrudan epikondillere işaretleyici tutturularak yapılan diz eklem merkezi kestirimleri, ilgili statik deney verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. VCM yöntemi ile yapılan hesaplamalarla ise, diz eklem merkezi doğrudan yürüyüş verilerinden elde edilmiştir.

Yapılan deneylerde deneklerin kalça ve diz eklem merkezlerinin gerçek koordinatları bilinmediğinden, uygulanan yeni yöntemlerin verdiği sonuçlar ODTÜ Yürüyüş Analiz Sisteminde şu anda eklem merkezi kestirimi için kullanılan yöntemlerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Kalça eklem merkezleri için, sisteme uyarlanan fonksiyonel yöntemler ve sistemde kullanılan kestirimci yöntemden elde edilen eklem merkezi koordinatları arasındaki uzaklıklar her yürüme deneyi için hesaplanmıştır. Benzer biçimde, diz merkezleme cihazı kullanılarak ve yeni yöntemlerden elde edilen diz eklem merkezleri arasındaki uzaklıklar da hesaplanmıştır.

Sistemde kullanılan farklı kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemlerinden elde edilen eklem merkezlerinin, hesaplanan eklem kinematığı üzerine etkileri ayrıca incelenmiştir. Kestirimci ve fonksiyonel yöntemler ile hesaplanan kalça eklem merkezi koordinatları eklem açısı hesaplamalarında ayrı ayrı kullanılarak her yürüme deneyi için toplam beş ayrı eklem açısı seti (1. kestirimci yöntem, ODTÜ, 2. yürüyüş1, 3. ÖKH1, 4. yürüyüş2, 5. ÖKH2) elde edilmiştir. Benzer biçimde, hesaplanan diz eklem merkezleri ile de her yürüme deneyi için üç ayrı eklem açısı seti (1. diz merkezleme, ODTÜ, 2. işaretleyici, 3. VCM yöntemi) oluşturulmuştur.

3. ANALİZ SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Ekleme Merkezleri

Farklı eklem merkezi kestirim yöntemleri kullanılarak elde edilen kalça ve diz eklem merkezi koordinatları arasında ihmal edilmeyecek kadar büyük farklar olduğu görülmüştür. Bu farklılıkların incelenmesi amacıyla hesaplanmış olan eklem merkezleri ile ODTÜ Yürüyüş Analizi Sisteminin varsaydığı eklem merkezi arasındaki uzaklıklar Tablo 1 ve 3'te sunulmuştur. Ayrıca, her bir denek ile gerçekleştirilmiş olan deneylerinden elde edilen eklem merkez uzaklıklarının ortalama ve standart sapma değerleri de Tablo 2 ve 4'te verilmiştir.

Her üç denek için de, ikinci fonksiyonel kalça eklem merkezi kestirim yöntemi ile yürüyüş verilerinden hesaplanan kalça eklem merkezlerinin kestirimci yöntemle en yakın sonuçları verdiği görülmüştür (Tablo 1 ve 2). Bunun dışında kalan kalça eklem merkezi kestirim yöntemlerinden elde edilen verilerden ise, bütün deneyleri kapsayan ortak bir eğilim gözlenmediğinden benzer bir çıkarım yapılamamaktadır. Yine Tablo 1'de görüleceği gibi, her yöntem ile elde edilen sonuçlar aynı deney içinde

dahi sağ ve sol taraflar için belirgin farklılıklar göstermektedir.

Bütün deneylerden elde edilen kalça eklem merkezi kestirimleri arasındaki en büyük uzaklık değeri 98,6 mm olarak bulunmuştur. Hesaplanan iki merkez arasında olan bu derecede bir farkın eklem kinematığı üzerinde ciddi etkileri olması beklenmelidir.

Farklı kalça eklem merkezi kestirim yöntemleri kullanılarak elde edilen merkez uzaklıkları arasında farklılıklar olup olmadığını bulmak amacıyla tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Sağ ve sol taraflar için ayrı ayrı gerçekleştirilen analizler sonucunda, hem sağ hem de sol taraflar için elde edilen kalça eklem merkezi uzaklıkları arasında anlamlı farklılıklar bulunduğu gözlemlenmiştir ($p < 0.05$). Bu farklılıkların hangi gruplardan kaynaklandığını incelemek amacıyla uygulanan Tukey HSD ikili karşılaştırma testi sonuçları Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 1. Kestirimci yöntem ile diğer yöntemlerin kalça eklem merkezi sonuçları arasındaki uzaklıklar

	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş (mm)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (mm)
Denek 1, Deney 1, Sağ	33,07	24,93	11,24	19,33
Denek 1, Deney 1, Sol	11,81	46,75	8,33	23,76
Denek 1, Deney 2, Sağ	49,86	24,93	10,94	19,33
Denek 1, Deney 2, Sol	40,03	46,75	3,55	23,76
Denek 1, Deney 3, Sağ	26,39	24,93	12,05	19,33
Denek 1, Deney 3, Sol	14,00	46,75	6,76	23,76
Denek 2, Deney 1, Sağ	84,09	36,45	7,95	24,19
Denek 2, Deney 1, Sol	56,39	33,29	1,17	26,77
Denek 2, Deney 2, Sağ	81,26	36,45	6,23	24,19
Denek 2, Deney 2, Sol	16,35	33,29	3,12	26,77
Denek 2, Deney 3, Sağ	49,65	36,45	11,07	24,19
Denek 2, Deney 3, Sol	98,60	33,29	4,70	26,77
Denek 3, Deney 1, Sağ	58,92	33,48	1,24	17,45
Denek 3, Deney 1, Sol	35,26	30,53	12,47	23,05
Denek 3, Deney 2, Sağ	92,23	33,48	2,97	17,45
Denek 3, Deney 2, Sol	49,65	30,53	14,21	23,05
Denek 3, Deney 3, Sağ	56,29	33,48	0,53	17,45
Denek 3, Deney 3, Sol	48,63	30,53	15,09	23,05

Diz eklem merkezi kestirim yöntemlerinden elde edilen sonuçlar ile ODTÜ Yürüyüş Analizi Sisteminin kullandığı eklem merkezi arasındaki uzaklıklar, kestirilen kalça eklem merkezleri arasındaki uzaklıklarıyla karşılaştırıldığında daha küçük ve kabul edilebilir değerlerde bulunmuştur (Tablo 3 ve 4). Yine kalça eklem merkezleri arasındaki uzaklıklara benzer biçimde, aynı deneğin aynı deneyinde sağ ve sol taraflar için kestirilen diz eklem merkezleri arasındaki uzaklık değerleri arasında farklılıklar gözlenmiştir.

Kullanılan diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ile elde edilen merkez uzaklıkları arasında anlamlı farklılıklar olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile araştırılmıştır. Yapılan analizlerde, sağ taraf diz eklem merkezi uzaklıkları arasında anlamlı bir farka rastlanmazken, sol taraf için elde edilen uzaklık değerleri arasında farklılıklar gözlenmiştir ($p < 0.05$). Varyans analizi sonrası uygulanan Tukey HSD ikili karşılaştırma testi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir

Tablo 2. Kalça eklem merkezi uzaklıklarının ortalama ve standart sapma değerleri

	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş Ort. ± St. Sapma (mm)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) Ort. ± St. Sapma (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş Ort. ± St. Sapma (mm)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) Ort. ± St. Sapma (mm)
Denek 1, Sağ	36,44 ± 12,09	24,93 ± 0,00	11,41 ± 0,57	19,33 ± 0,00
Denek 1, Sol	21,95 ± 15,69	46,75 ± 0,00	6,21 ± 2,44	23,76 ± 0,00
Denek 2, Sağ	71,67 ± 19,12	36,45 ± 0,00	8,42 ± 2,45	24,19 ± 0,00
Denek 2, Sol	57,11 ± 41,13	33,29 ± 0,00	2,99 ± 1,77	26,77 ± 0,00
Denek 3, Sağ	69,15 ± 20,03	33,48 ± 0,00	1,58 ± 1,25	17,45 ± 0,00
Denek 3, Sol	44,51 ± 8,03	30,53 ± 0,00	13,92 ± 1,33	23,05 ± 0,00

Tablo 3. Diz merkezleme aracı ile diğer yöntemlerin diz eklem merkezi sonuçları arasındaki uzaklıklar

	Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17] (mm)	VCM Yöntemi [13] (mm)
Denek 1, Deney 1, Sağ	13,96	15,27
Denek 1, Deney 1, Sol	4,45	10,17
Denek 1, Deney 2, Sağ	13,96	15,24
Denek 1, Deney 2, Sol	4,45	10,09
Denek 1, Deney 3, Sağ	13,96	15,26
Denek 1, Deney 3, Sol	4,45	10,17
Denek 2, Deney 1, Sağ	3,16	9,06
Denek 2, Deney 1, Sol	12,57	14,05
Denek 2, Deney 2, Sağ	3,16	9,05
Denek 2, Deney 2, Sol	12,57	14,05
Denek 2, Deney 3, Sağ	3,16	9,07
Denek 2, Deney 3, Sol	12,57	14,05
Denek 3 Deney 1, Sağ	15,06	13,51
Denek 3 Deney 1, Sol	12,32	16,73
Denek 3 Deney 2, Sağ	15,06	13,48
Denek 3 Deney 2, Sol	12,32	16,72
Denek 3 Deney 3, Sağ	15,06	13,49
Denek 3 Deney 3, Sol	12,32	16,69

Tablo 4. Diz eklem merkezi uzaklıklarının ortalama ve standart sapma değerleri

	Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17] Ort. \pm St. Sapma (mm)	VCM Yöntemi [13] Ort. \pm St. Sapma (mm)
Denek 1, Sağ	13,96 \pm 0,00	15,26 \pm 0,01
Denek 1, Sol	4,45 \pm 0,00	10,14 \pm 0,05
Denek 2, Sağ	3,16 \pm 0,00	9,06 \pm 0,01
Denek 2, Sol	12,57 \pm 0,00	14,05 \pm 0,00
Denek 3, Sağ	15,06 \pm 0,00	13,49 \pm 0,02
Denek 3, Sol	12,32 \pm 0,00	16,71 \pm 0,02

Tablo 5. Kalça eklem merkezi uzaklıkları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş (1)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (2)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş (3)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (4)
Anlamlı Farklılık	Sağ	(2), (3), (4)	(1), (3)	(1), (2)	(1)
	Sol	(3)	(3)	(1), (2)	-

Tablo 6. Diz eklem merkezi uzaklıkları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17] (1)	VCM Yöntemi [13] (2)
Anlamlı Farklılık	Sağ	-	-
	Sol	(2)	(1)

Eklem Kinematığının Hesaplanması

Uygulanan yöntemler ile elde edilen değişik kalça ve diz eklem merkezleri kullanılarak kalça, diz ve ayak bileği eklem açıları bütün deneyler için hesaplanmıştır. Elde edilen açılar bir tam yürüyüş çevirimi için ayrı ayrı grafik üzerinde çizdirilmiştir. Şekil 1-5'te, eklem merkezi kestirimlerinde önemli farklılıklar gösteren örnek bir deneyden (Denek 2, Deney 3) elde edilen eklem açıları sunulmuştur.

Farklı kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ile hesaplanan eklem açıları arasında anlamlı farklar olup olmadığı tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile, sağ ve sol taraf açıları için ayrı ayrı araştırılmıştır. Açılar arasında görülen anlamlı farklılıklar ($p < 0.05$) daha sonra Tukey HSD ikili karşılaştırma testi ile daha detaylı olarak incelenmiştir (Tablo 7 ve 8).

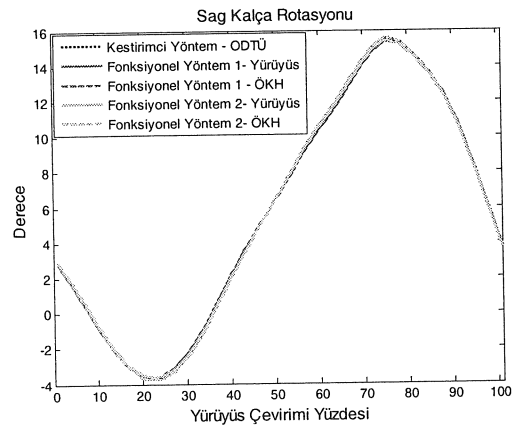
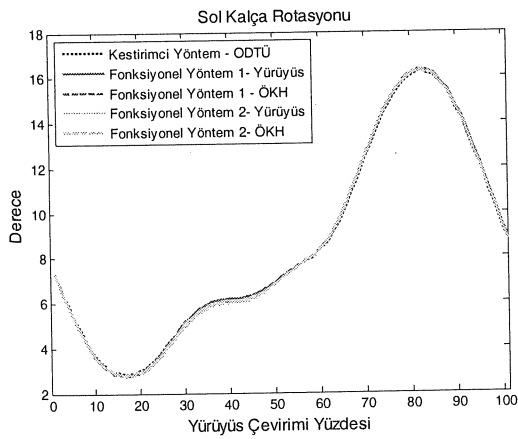
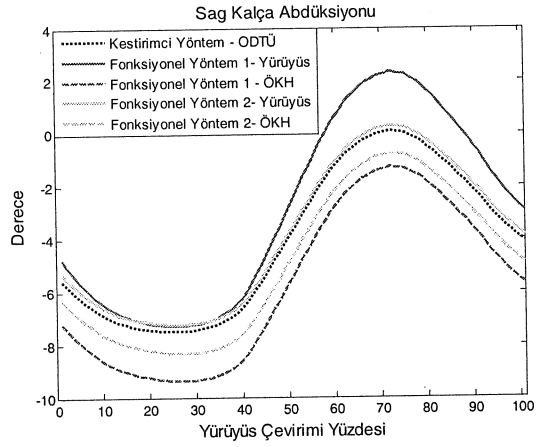
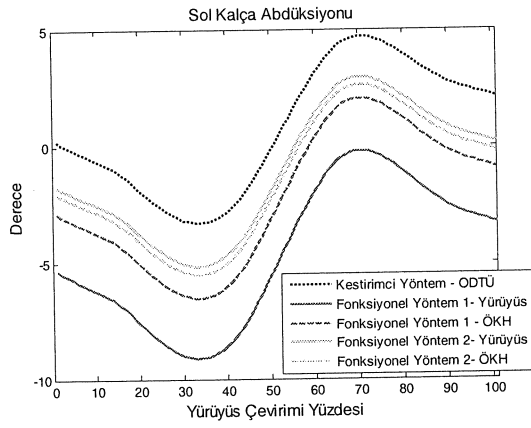
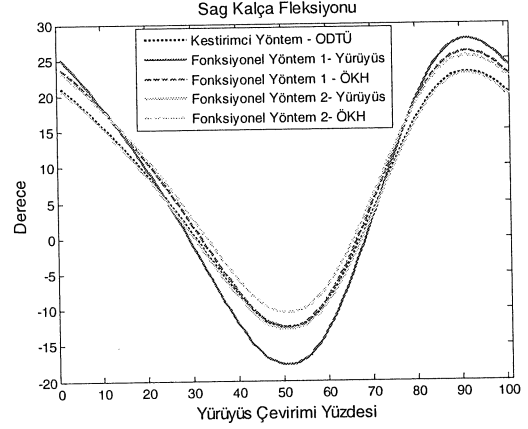
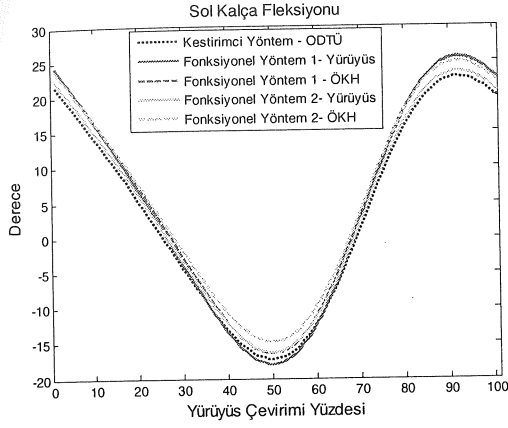
Kalça eklem merkezi kestirimindeki değişikliklerden kalça ve diz eklem açıları doğrudan etkilenmektedir (Şekil 1 ve 2). Açıların genel karakterinde önemli bir değişiklik olmamakla

beraber, farklı kalça eklem merkezlerinin kullanılması hesaplanan açılarda yukarı ve aşağı ötelenmeler yaratmıştır. Kalça iç/dış rotasyon ve fleksiyon/ekstansiyon açılarında kalça eklem merkezi değişiminden kaynaklanan farklılıklar gözlemlenmezken, kalça abduksiyon/adduksiyon açıları ise kalça eklem merkezi konumundan belirgin biçimde etkilenmiştir (Tablo 7). Diz eklem açıları içinde ise fleksiyon/ekstansiyon açıları kalça eklem merkezi konumundan en az etkilenen açılar olmuştur. Öte yandan, diz iç/dış rotasyon ve sol diz valgusu açılarında kalça eklem merkezi değişikliklerine bağlı olarak önemli farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu farklılıklar diz valgus/varus açısında sabit yukarı/aşağı ötelenmeler olarak gerçekleşirken; iç/dış rotasyon açılarında ise fleksiyon/ekstansiyon açılarının artış aralığına denk gelen ötelenmeler biçiminde olmuştur (Şekil 2).

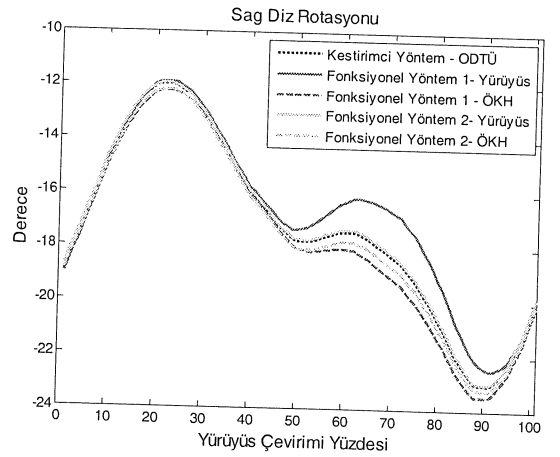
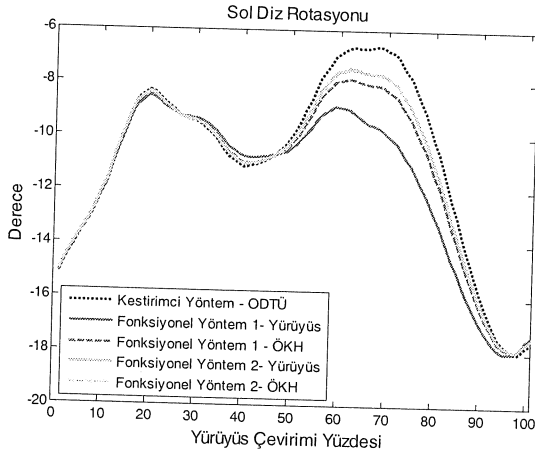
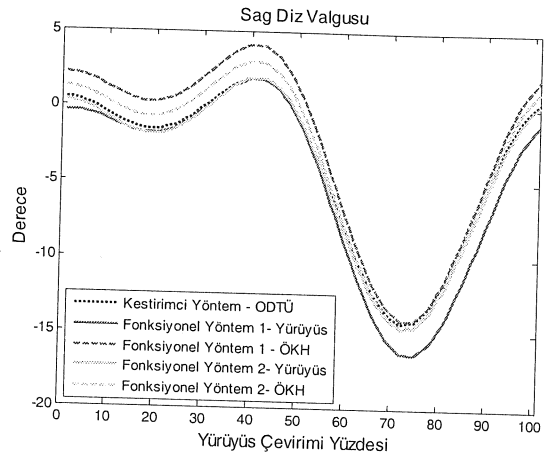
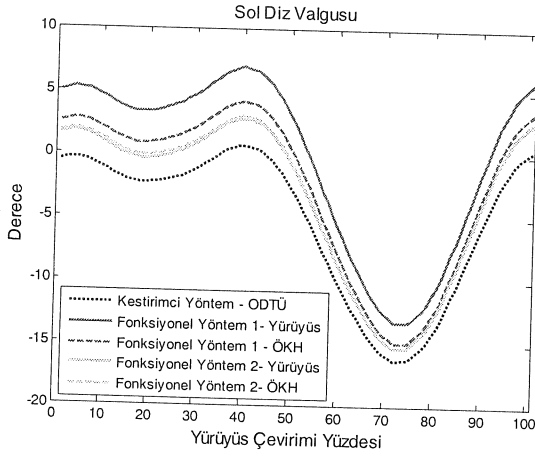
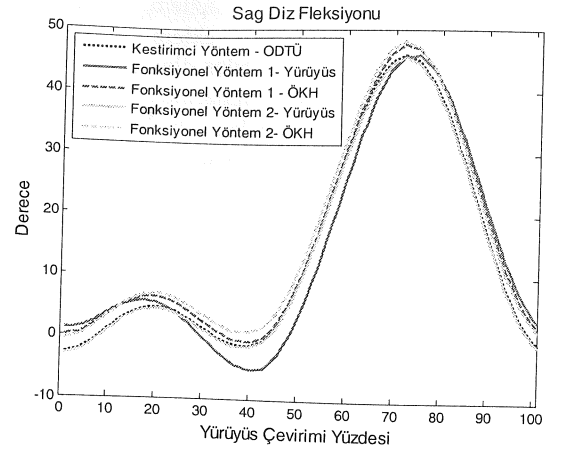
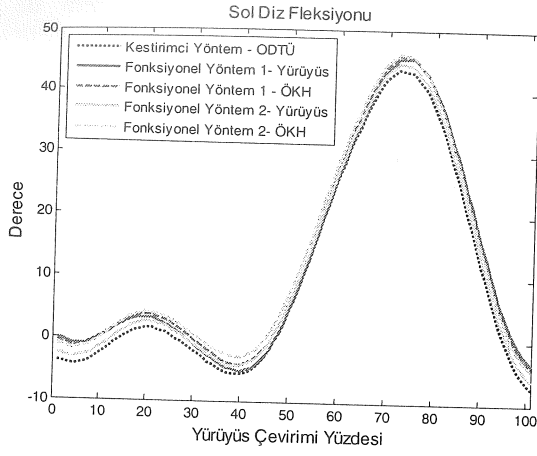
Üç farklı yöntem ile hesaplanmış olan diz eklem merkezlerinden elde edilen kalça, diz ve ayak bileği eklem açılarının da diz eklem merkezindeki değişimlerden doğrudan etkilendiği görülmektedir

(Şekil 3-5). Sajital düzlem açıları (fleksiyon/ekstansiyon), diz ekleme merkezi değişiminden en az etkilenen açılar olmuştur (Tablo 8). Kalça ve diz iç/dış rotasyon açıları ise, verilen örnek deney için 15 dereceyi bulan sabit yukarı-aşağı ötelenmeler meydana gelmiştir (Şekil 3). Öte yandan diz valgus/varus açıları, diz ekleme merkezindeki

değişikliklere bağlı olarak hem eğilim hem de büyüklük olarak önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 8).. Ayak iç/dış rotasyon açılarının ise diz ekleme merkezi değişikliğine hassasiyeti olmadığı görülmüştür.



Şekil 1 Farklı kalça ekleme merkezleri ile hesaplanan kalça ekleme açıları



Şekil 2. Farklı kalça eklem merkezleri ile hesaplanan diz eklem açıları

Tablo 7. Farklı kalça eklem merkezi kestirim yöntemleri ile elde edilen eklem açıları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Kestirimci Yöntem [6] ODTÜ (1)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Yürüyüş (2)	Fonksiyonel Yöntem 1 [10] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (3)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Yürüyüş (4)	Fonksiyonel Yöntem 2 [9] Özel Kalça Hareketi (ÖKH) (5)
Anlamlı Farklılık	Sağ Kalça Fleksiyonu	-	-	-	-	-
	Sol Kalça Fleksiyonu	-	-	-	-	-
	Sağ Kalça Abdüksiyonu	(3)	(3)	(1),(2),(4),(5)	(3)	(3)
	Sol Kalça Abdüksiyonu	(2),(3)	(1),(3),(4),(5)	(1),(2),(4),(5)	(2),(3)	(2),(3)
	Sağ Kalça Rotasyonu	-	-	-	-	-
	Sol Kalça Rotasyonu	-	-	-	-	-
	Sağ Diz Fleksiyonu	-	-	-	-	-
	Sol Diz Fleksiyonu	-	-	-	-	-
	Sağ Diz Valgusu	-	-	-	-	-
	Sol Diz Valgusu	(5)	(5)	(5)	(5)	(1),(2),(3),(4)
	Sağ Diz Rotasyonu	(3)	(3)	(1),(2),(4)	(3)	-
	Sol Diz Rotasyonu	(3)	-	(1),(4)	(3)	-

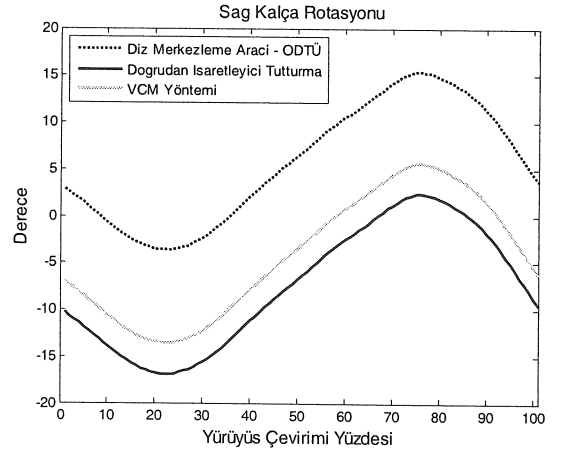
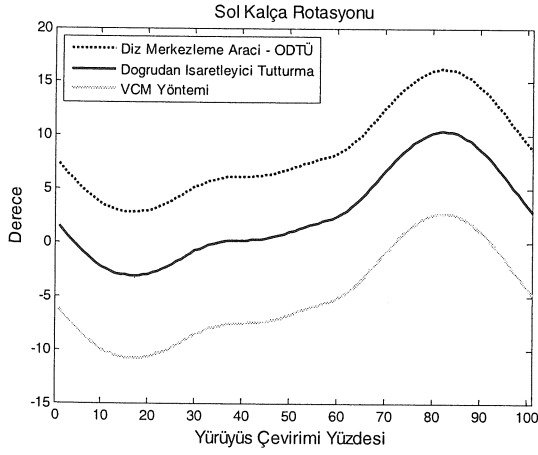
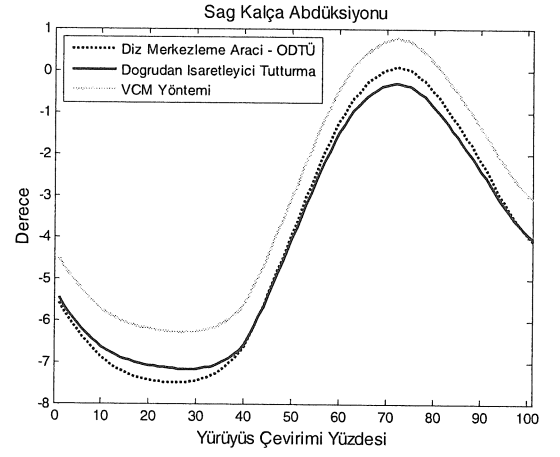
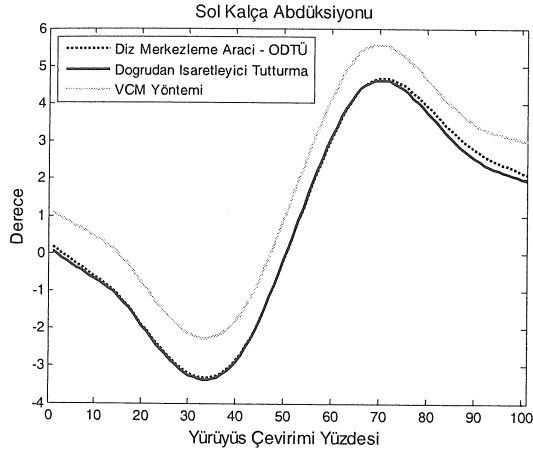
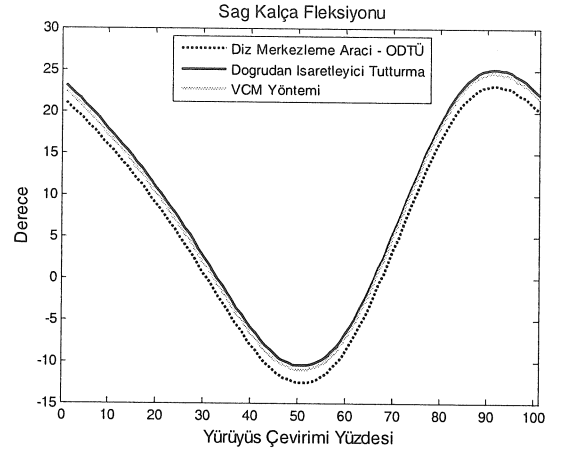
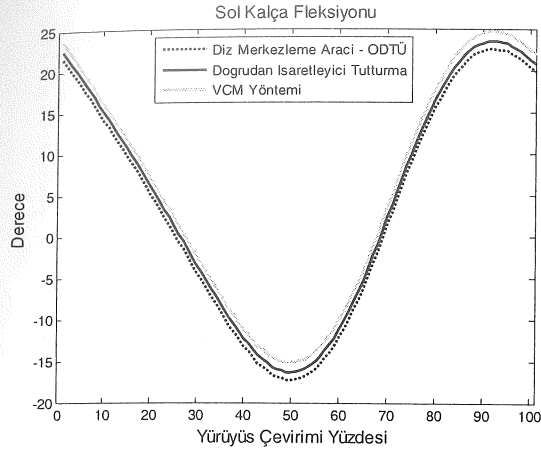
Tablo 8. Farklı diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ile elde edilen eklem açıları için Tukey HSD İkili Karşılaştırma Testi Sonuçları ($\alpha = 0,05$)

		Diz Merkezleme Aracı ODTÜ [6]	Epikondillere Doğrudan İşaretleyici Tutturma Yöntemi [17]	VCM Yöntemi [13]
		(1)	(2)	(3)
Anlamlı Farklılık	Sağ Kalça Fleksiyonu	-	-	-
	Sol Kalça Fleksiyonu	-	-	-
	Sağ Kalça Abdükiyonu	-	-	-
	Sol Kalça Abdükiyonu	(3)	(3)	(2),(3)
	Sağ Kalça Rotasyonu	(2),(3)	(1)	(1)
	Sol Kalça Rotasyonu	(2),(3)	(1)	(1)
	Sağ Diz Fleksiyonu	(2)	(1)	-
	Sol Diz Fleksiyonu	-	-	-
	Sağ Diz Valgusu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sol Diz Valgusu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sağ Diz Rotasyonu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sol Diz Rotasyonu	(2),(3)	(1),(3)	(2),(3)
	Sağ Dorsifleksiyon	-	-	-
	Sol Dorsifleksiyon	-	-	-
	Sağ Ayak Rotasyonu	-	-	-
	Sol Ayak Rotasyonu	-	-	-

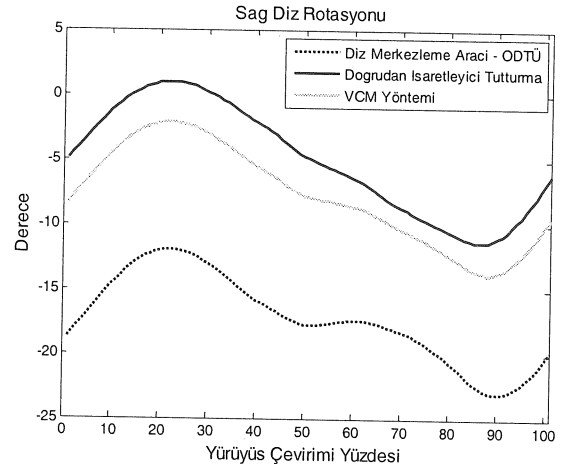
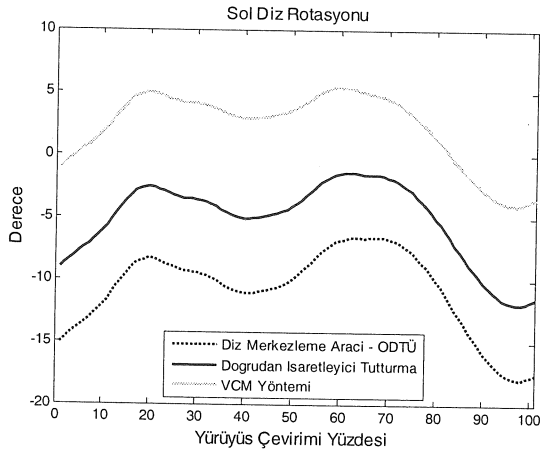
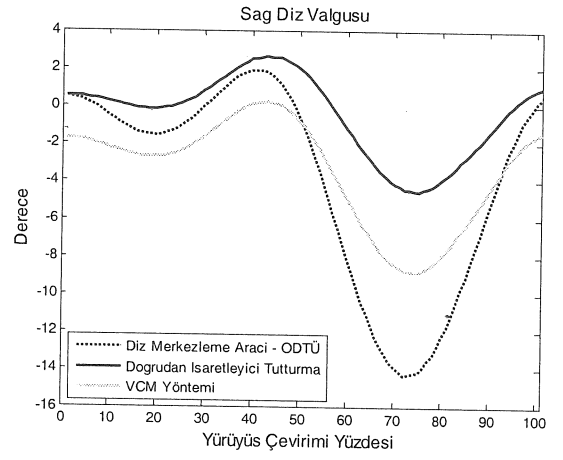
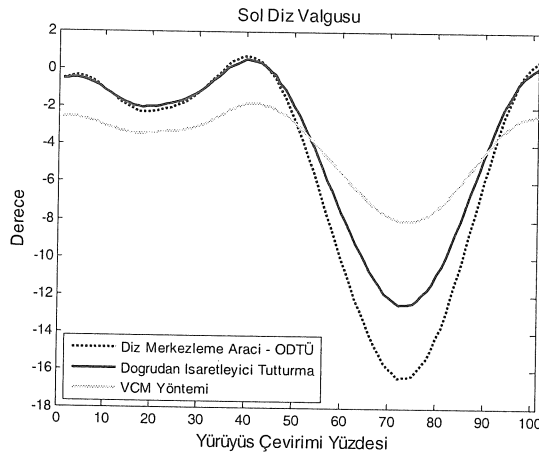
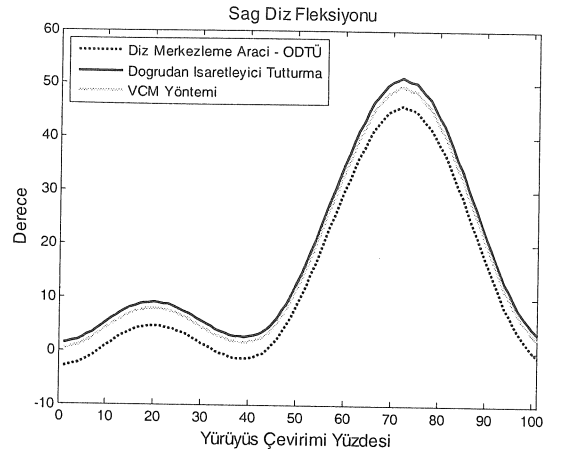
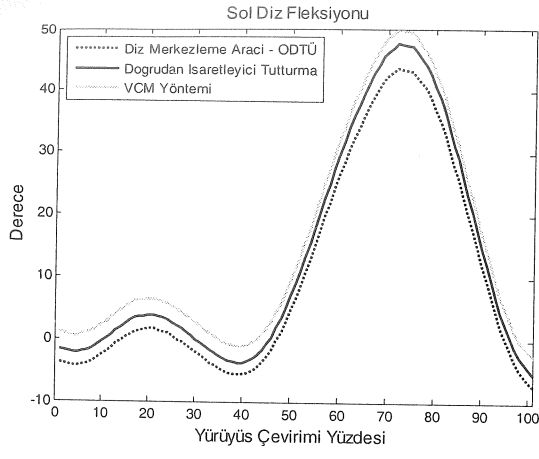
4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çeşitli kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntemleri ODTÜ Yürüyüş Analizi Sistemine uyarlanmış ve gerçekleştirilen deneyler aracılığıyla bu yöntemlerin sistemdeki performansları araştırılmıştır. Elde edilen veriler, uygulanan kalça ve diz eklem merkezi kestirim yöntem sonuçlarının birbirlerinden kayda değer farklılıkta olduğunu ve farklı deneyler için belirli bir eğilim izlediğini göstermiştir. Bu verilerin ışığında, belirtilen yöntemlerin eklem merkezi kestirme performanslarının değerlendirilebilmesi için gerçek eklem merkezi konum bilgilerinin tıbbi görüntüleme

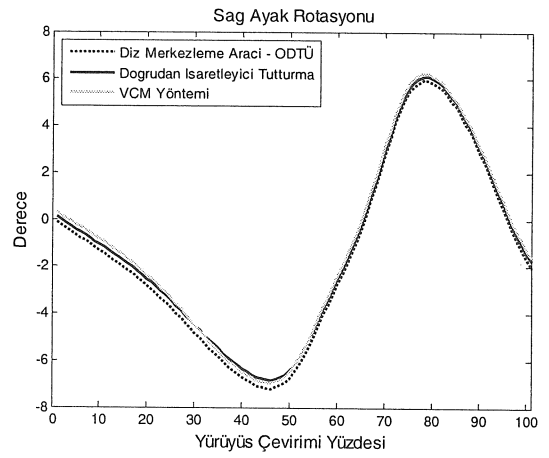
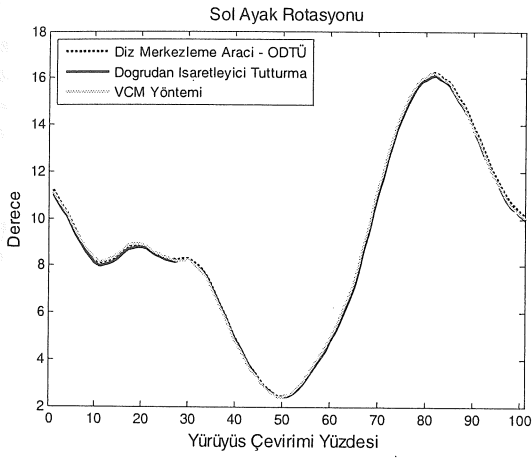
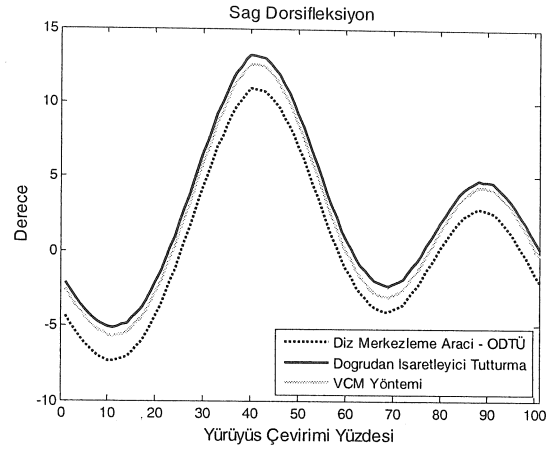
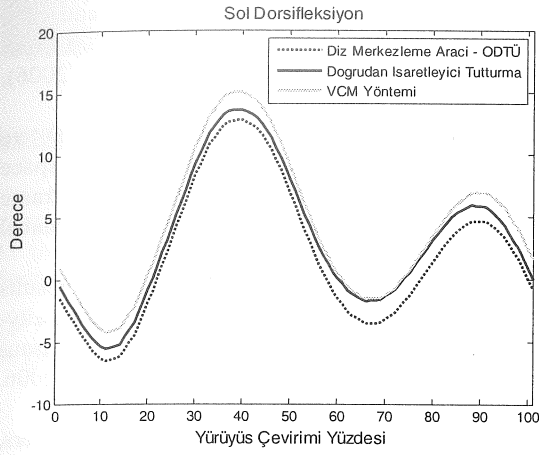
ile ve bir uzman doktor tarafından belirlenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Eklem merkezi kestirim yöntemlerinin hesaplanan eklem kinematiği sonuçlarına etkisi ise bu çalışmanın ikinci kısmında incelenmiştir. Farklı yöntemlerden elde edilen kalça ve diz eklem merkez koordinatlarındaki farkların, eklem açılarını önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu sonuç, yürüyüş analizi sisteminin kinematik sonuçlarının güvenilirliğinin, uygulanan eklem merkez kestirim yöntemi performansına doğrudan bağlı olduğunu göstermektedir.



Şekil 3.Farklı diz ekleme merkezleri ile hesaplanan kalça ekleme açıları



Şekil 4. Farklı diz eklem merkezleri ile hesaplanan diz eklem açıları



Şekil 5. Farklı diz eklem merkezleri ile hesaplanan ayak bileği açıları

EFFECTS OF VARIOUS JOINT CENTER ESTIMATION METHODS ON CALCULATED JOINT KINEMATICS IN GAIT ANALYSIS APPLICATIONS

In gait analysis applications, joint center locations that are computed from surface marker coordinates have direct effect on calculated joint kinematics and kinetics. In this study, various hip and knee joint center estimation methods employed in literature, predictive or functional, were implemented in METU Gait Analysis System. Performances of these methods in the system and their effects on calculated joint kinematics were investigated. Significant differences were observed among joint center estimates of the implemented methods. Calculated joint angles were found to be significantly affected from joint centers obtained from the implemented joint center estimation methods.

Keywords: Gait Analysis, Hip Joint Center, Knee Joint Center

KAYNAKÇA

1. Della Croce, U., Leardini, A., Chiari, L. ve Cappozzo, A., Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 4: assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics. *Gait and Posture* 21 (2005), 226-237.
2. Seidel G.K., Marchinda D.M., Dijkers M., ve Soutas-Little, R.W., Hip joint center location from palpable bony landmarks – a cadaver study. *Journal of Biomechanics* 28 (1995), 995-998.

3. Andriacchi, T. P., Andresson, R.W., Stern D. ve Galante, J.O., A study of lower-limb mechanics during stair climbing. *Journal of Bone Joint Surgery* 62 (1980), 749-757.
4. Bell, A.L., Brand, R.A. ve Pedersen, D.R., Prediction of hip joint centre location from external landmarks. *Human Movement Science* 8 (1989), 3-16.
5. Bell, A. L., Pedersen, D. R. ve Brand, R. A., A comparison of the accuracy of several hip center location prediction methods. *Journal of Biomechanics* 23 (1990), 617-621.
6. Davis III, R.B., Ounpuu, S., Tyburski, D. ve Gage, J.R., A gait analysis data collection and reduction technique. *Human Movement Science* 10 (1991), 575-587.
7. Cappozzo, A., Gait analysis methodology. *Human Movement Science* 3 (1984), 27-50.
8. Piazza, S.J., Okita, N. ve Cavanagh, P.R., Accuracy of the functional method of hip joint center location: effects of limited motion and varied implementation. *Journal of Biomechanics* 34 (2001), 967-973.
9. Piazza, S. J., Erdemir, A., Okita, N. ve Cavanagh, P. R., Assessment of the functional method of hip joint center location subject to reduced range of hip motion. *Journal of Biomechanics* 37 (2004), 349-356.
10. Hicks, J.L. and Richards, J.G., 2005. Clinical applicability of using spherical fitting to find hip joint centers. *Gait and Posture* 22, 138-145.
11. Siston, R.A. ve Delp, S.L., Evaluation of a new algorithm to determine the hip joint center. *Journal of Biomechanics* 39 (2006), 125-130.
12. Cappozzo, A., Catani F., Croce U. D. ve Leardini A., Position and orientation in space of bones during movement: anatomical frame definition and determination. *Clinical Biomechanics* 10 (1995), 171-178.
13. Civek, E., Comparison of kinematic results between METU-KISS & Ankara University-Vicon gait analysis systems. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2006, Ankara.
14. Shiavi, R., Limbird, T., Frazer, M., Stivers, K., Strauss, A. ve Abramovitz, J., Helical motion analysis of the knee – I. Methodology for studying kinematics during locomotion. *Journal of Biomechanics* 20 (1987), 459-469.
15. Besier, T.F., Sturnieks, D.L., Alderson, J.A. ve Lloyd, D.G., Repeatability of gait data using a functional hip joint centre and a mean helical knee axis. *Journal of Biomechanics* 36 (2003), 1159-1168.
16. Söylemez, B., An investigation on the gait analysis protocol of the "KISS" motion analysis system, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2002, Ankara.
17. Kafalı, P., Evaluation of sensitivity of METU gait analysis system, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, 2007, Ankara.

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

<u>KONGRE ADI</u>	<u>TARİH</u>	<u>YAZIŞMA ADRESİ</u>
UMTS 2007 13. Ulusal Makina Teorisi Sempozyumu	7-9 Haziran 2007-11-27 Sivas	http://muhendislik.cumhuriyet.edu.tr/makine/umts2007/umts2007@cumhuriyet.edu.tr
14 th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering	11-13 Haziran 2007 Waseda University Tokyo, Japon	CIRP-LCE Secretariat c/o takata lab. Department of Industrial and management Systems Engineering Waseda University Okuba 3-4-1, shinijuku-ku, Tokyo 169-8555, Japan Tel: +81-(0)3-5286-3299 Fax: +81-(0)3-3202-2543 e-mail: lce2007@takata.mgmt.waseda.ac.jp http://cirp-lce2007.jspe.or.jp
APE'07 IV INTERNATIONAL CONFERENCE on ADVANCES IN PRODUCTION ENGINEERING	14-16 Haziran 2007 Warsaw, Poland	L. Dabrowski, Warsaw University of Technology Narbutta 85, 02-524 Warsaw, POLAND Fax: (+48 22) 8490 285 e-mail: ape2007@meil.pw.edu.pl http://www.meil.pw.edu.pl/ape2007
International Conference on Product Lifecycle Management	11-13 Temmuz 2007 Politecnico di Milano Italy	Mrs Nadia menni Politecnico di milano Nadia.menni@polimi.it Tel: +39 02 2399 2731 Fax: +39 02 2399 2700 www.plm-conference.org
35 th International MATADOR Conference Manufacturing Automation and Systems Technology Applications Design Organisation and Management Research	18-20 th Temmuz 2007 National Taiwan University Taipei, Taiwan	Mrs C Collins The Organising secretary The University of Manchester School of MACE Sackville Street Manchester M60 1QD Tel: +44(0) 161 306 3800 Fax : +44(0) 161 306 4166/3803 E-mail: Christine.collins@manchester.ac.uk Web: http://www.me.ntu.edu.tw/~matador
2 nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV 2007)	22-24 Temmuz 2007 Toronto, Ontario, Canada	CARV 2007 Conference Office c/o Inteligent Manufacturing Systems Centre 204 Odette Building, University of Windsor Tel: +1(519) 253-3000 Ext. 3439 Fax: +1(519) 973-7053 http://www.carv.production.com
10 th CIRP International Workshop on Modeling of Machining Operations	27-28 Ağustos 2007 Reggio Calabria, Italy	CIRP Workshop Secretariat University of Calabria Dept. of Mechanical Engineering 87036 – Rende (CS) Italy Tel: +39 0984 49 4608, 4820, 4640 Fax: +39 0984 49 4673 E-mail: cirp10ws@unical.it WWW: http://cirp10ws.unical.it
ASME 2007 10 th International Power Transmission and Gearing Conference	4-7 Eylül 2007 Rio all-Suite Hotel and Casino 3700 West Flamingo Road Las Vegas, Nevada 89103	Dr. Ahmet Kahraman, Conference Chair The Ohio State University http://www.asmeptg.org/

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

APT '07
International Conference on
Applied Production Technology

17-19 Eylül 2007
Bremen

Prof. dr. -Ing. Frank Vollertsen, Conference Chair
Dipl. -Ing. Claus Thomy, Conference Secretary
BIAS Bremer Institut für angewandte Strahltechnik GmbH
Klagenfurter Strabe 2
D-28359 Bremen
Germany
Tel: +49(0)421-218-5037
Fax : +49(0)421-2105063
apt07@bias.de
www.bias.de/apt07

4th CIRP-Sponsored, International
Conference in Digital Enterprise
Technology

19-21 Eylül 2007
Bath, United Kingdom

DET 2007 Conference Office
c/o Innovative Manufacturing research Centre Department of
Mechanical Engineering University of Bath
Bath, BA2 7AY, United Kingdom
Tel: +44(0)1225 386371
Fax: +44(0)1225 386928
E-mail: admin@det-conf.org.uk
Web: <http://www.det-conf.org.uk>

2nd ICNFT
2nd International Conference on
New Forming Technology Metal
Forming, Cutting, Joining and
Metals Plasticity

20-21 Eylül 2007
Bremen, Germany

Tel: +49(0)421-218-01
Fax: +49(0)421-218-5063
icnft@bias.de
www.bias.de/icnft

ICTMP 2007
3rd International Conference on
Tribology in Manufacturing
Processes

24-26 Eylül 2007
Yokohama, Japan

ICTMP 2007
Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering
Yokohama National University
79-5 Tokiwadai, Hodogaya-ku, Yokohama, 240-8501 JAPAN
Tel: +81 45 339 3835, Fax: +81 45 331 6593
E-mail: ICTMP07@ynu.ac.jp
www.ICTMP2007.jp

AMPT 2007
The International Conference on
Advances in Materials and
Processing Technologies

7-11 Ekim 2007
KAIST
Daejeon, Korea

Yong-Taek Im Ph. D. and Professor
National research Laboratory for
Computer Aided materials processing
Department of mechanical Engineering, ME 3227 Korea Advanced
Institute of Science & Technology 373-1, Guseong-dong, Yuseong-
gu daejeon 305-701, Korea
Tel: +82-42-869-3227
Fax: +82-42-869-3210
Webpage: <http://camp.kaist.ac.kr/ampt2007>

Gas Turbine Users Symposium
(GTUS) 2007

11-13 Aralık 2007
New Orleans, Louisiana,
united States

<http://caledar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=5183>

Second European Fuel cell
Technology and Applications
Conference

11-14 Aralık 2007
Rome, Italy

<http://asmeconferences.org/efc07/>

2nd Multifunctional Nanocomposites
& Nanomaterials: International
Conference & Exhibition

11-13 Ocak 2008
Sharm El Sheikh, Egypt

<http://www.asmeconferences.org/MN08/>

The Ninth Cairo University's
International Conference on
Mechanical Design and Production
(MDP-9)

8-10 Ocak 2008

General Secretary, MDP-9 Conference Mechanical Design &
Production Department, Faculty of Engineering, Cairo University,
Cairo 12613, Egypt.
Tel/Fax: +(202) 569-3025;
E-mail: mdpfecu@yahoo.com; <http://www.mdp.eg.net>

16th International Colloquium on
Tribology Lubricants, Materials and
Lubrication Engineering

15-17 Ocak 2008
Stuttgart/ostfildern,
Germany

Professor W.J. Bartz, Technische Akademic Esslingen, An der
Akademic 5, D-773780, Germany.
www.tae.de/tribology; E-mail: rea.zeh@tae.de

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

16-th International Conference in
Central Europe on Computer
Graphics, Visualization and
Computer Vision 2008

4-7 Şubat 2008
University of West
Bohemia, Plzen, Czech
Republic Close to Prague

<http://wscg.zcu.cz/wscg2008.htm>

Space Technology and Applications
International Forum 2008

10-14 Şubat 2008
Albuquerque, New
Mexico, United States

<http://calendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6878>

WSEAS-Artificial Intelligence,
Knowledge Engineering and Data
Bases (AIKED'08)

20-22 Şubat 2008
University of Cambridge

<http://wseas.org/conferences/2008/cambridge/aiked/>

ICHSF 2008 3 International
Conference on High Speed Forming

11-12 Mart 2008
Dortmun, Germany

e-mail: ichsf@iul.uni-dortmund.de
Info.: www.ichsf.iul.uni-dortmund.de
Fax: +49(0)231 7 55 – 2489

2nd CIRP International Seminar on
Assembly Systems ISAS 2008

21-23 Mart 2008
Toronto, Ontario, Canada

Professor hoda ElMaraghy, Chair CIRP ISAS 200
Intelligent manufacturing Systems (IMS) Centre University of
Windsor
204 Odette Building, 401 Sunset Avenue Windsor, Ontario
CANADA N9B 3P4
Tel: +1 519 253 3000 Ext. 3439 Fax : +1 519 973 7053

KES-AMSTA-2008
2nd International Symposium on
Agents and Multi-agent Systems
Technologies and Applications

26-28 Mart 2008
Incheon, Korea

<http://amsta-08.kesinternational.org/index.php>
or
<http://amsta-08.kesinternational.info/>

Tribology 2008
SAIT 9th International Tribology
Conference

2-4 Nisan 2008
Pretoria, South Africa

The Secretary, SAIT, PO Box 1240, Kelvin, Johannesburg 2054,
South Africa
Tel: +27-11-802-5145; Fax: +27-11-804-4972
E-mail: secretary@sait.org.za; www.sait.org.za

2008 International Mechanical
Engineering Education Conference

04-08 Nisan 2008
Galveston, Texas, United
States

<http://www.asmeconferences.org/meed2008>

ACS National Meeting –
Symposium on Surface chemical
Aspects of Tribology

6-10 Nisan 2008
New Orleans, USA

Gustavo S. Luengo, L'Oreal recherch , Aulnay sous Bois 93106,
France.
www.chemistry.org/portal/a/c/s/1/acdisplay.html

EUROGRAPHICS'08

14-15 Nisan 2008
Crete, Greece

<http://www.ics.forth.gr/eg2008/home.php>

EUROGRAPHICS 2008
SYMPOSIUM ON PARALLEL
GRAPHICS AND
VISUALIZATION

14-15 Nisan 2008,
Crete, Greece
Co-Located with
Eurographics'08

<http://vidi.cs.ucdavis.edu/egpgvos>

Design of Medical Devices
Conference

15-17 Nisan 2008

<http://calendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6879>

Karol Myszkowski
Spring Conference on Computer
Graphics 2008

21-23 Nisan 2008
Budmerica, Slovakia

Max-Planck-Institut für Informatik Stuhlsatzenhausweg 85
66123 Saarbrücken, Germany
e-mail : karol@mpi.mpg.de
Phone: +49-681-9325-429
Fax: +49-681-9325-499

5th International Conference on
Informatics in Control, Automation
and Robotics – Icinco 2008

11-15 Mayıs 2008
Funchal, Madeira Portugal

<http://www.icinco.org>

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

"Continuous Optimization and Knowledge-Based Technologies" (EUROPT-2008)	20-23 Mayıs 2008 Neringa, Lithuania	Europt-2008 Institute of Mathematics & Akademijos st 4 Vilnius 08663 Lithuania http://www.mit.lt/europt-2008 e-mail: euopt2008@ktl.mit.lt
13 th International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering (AMME-13)	27-29 Mayıs 2008 Cairo, Egypt	Tel: +(202) 24037852 – 24037849 Fax: +(202) 24029382 - 22621908 www.mtc.edu.eg amme-13@mtc.edu.eg
ACM Solid and Physical Modeling Symposium 2008	2-4 Haziran 2008 New York, USA	Stony Brook University, Stony Brook, New York, USA http://www.cs.sunysb.edu/spmos spmos@cs.sunysb.edu
ASME Turbo expo 2008	09-13 Haziran 2008 Berlin, Germany	http://www.turboexpo.org/
NORDTRIB 2008 – 13 th Nordic symposium on Tribology	10-13 Haziran 2008 Tampere, Finland	NORDTRIB 2008, Machine Design, tampere University of technology, Box 589, 33101 Tampere, Finland. Fax: +358 3 3115 2306; E-mail: nordtrib2008@tutu.fi
6 th International Conference on Tribology – BALKANTRIB '08	12-14 Haziran 2008 June, Sozopol, Black Sea Coast, Bulgaria	Tribology Centre, technical University, Sofia, 1756, Bulgaria. Tel: +359 2 851 7622; E-mail: kandeva@tu-sofia.bg or emiass@mail.bg
ASME 3 rd Frontiers in Biomedical Devices	18-20 Haziran 2008 Irvine, California, United States	http://calendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6869
Fifth annual IEEE Communications Society Conference on Sensor, Mesh and Ad hoc Communications and Networks (IEEE SECON 2008)	16-20 Haziran 2008 San Francisco, California, USA	http://www.ieee-secon.org
The 6 th International Conference on Education and Information Systems, Technologies and Applications: EISTA2008	20 Haziran – 2 Temmuz 2008 Orlando, Florida, USA	http://www.socioinfocyper.org/eista2008
1st Mediterranean Conference on Intelligent Systems and Automation "Cisaos"	30 Haziran – 2 Temmuz 2008 Annaba, Algeria	http://lsc.univ.evry.fr/cisaos/ hichem.arioui@ibisc.fr
9 th Biennial ASME Conference Engineering Systems Design and Analysis – ESDA 2008	7-9 Temmuz 2008 Haifa, Israel	http://www.asmeconferences.org/esda08
IFAC World Congress 2008	6-11 Temmuz 2008 Seoul, Korea	http://www.ifac2008.org/PaperFormat.html?title=fp&id=cfp05
2008 ASME Heat Transfer/Fluids/Solar/nano Conferences	10-14 Ağustos 2008 Jacksonville, Florida, United States	http://calendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6001
13. UMTIK 2008 International Conference on Machine Design and Production Society of Automotive Engineers in Japan (JSAE)	3-5 Eylül 2008 İstanbul, Turkey	http://www.umtik2008.org
Dynamic Systems and Control (DSC) Conference	06-09 Ekim 2008	http://www.jsae.or.jp/index_e.php
	20-22 Ekim 2008	http://clendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6345

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

Global Conference on Smart
Materials, Adaptive Structures and
Intelligent Systems

28-30 Ekim 2008

<http://calendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6345>

IEEE SENSORS 2007 Conference

28-31 Ekim 2008
Atlanta, Georgia USA

Conference website: www.ieee-sensors2007.org

ASME 2008 International
Mechanical Congress and
Exposition (IMECE)

02-06 Kasım 2008
Boston, Massachusetts,
United States

<http://calendar.asme.org/EventDetail.cfm?EventID=6006>

YAYIN İLKELERİ

Amaç

1. Makina tasarım ve imalatı alanında yerli teknoloji üretimine yönelik kuramsal ve uygulamalı çalışmalarını duyurmak.
2. Bu alanda çalışan kişi ve kuruluşlar arasında bilgi alışverişini sağlamak.
3. Yayınlanan çalışmalar üzerinde teknik tartışma ortamı yaratmak.
4. Üniversite – endüstri arasındaki yakınlaşma ve işbirliğinin geliştirilmesine katkıda bulunmak.
5. Türkçe teknik bilgi birikimini arttırmak.

Kapsam

- (a) Dergi amaçları doğrultusunda aşağıda belirtilen konularda veya bunlara yakın konulardaki yazıları yayımlar;

Makina Tasarımı, Mekanik Sistemlerin Tasarımı ve Analizi, Makina Teorisi ve Mekanizma Tekniği, Makina Elemanları, İmalat Yöntemleri, Bilgisayar Yardımı ile tasarım ve İmalat, Robotik ve Esnek İmalat Yöntemleri, Akışkanlar Mekaniği, Malzeme Seçimi ve Malzeme Sorunları, Kalite Kontrolü, Fabrika Organizasyonu ve Üretim Planlaması, Bakım ve Onarım, Derginin amacına uygun diğer konular.

- (b) Dergide yayımlanacak makaleler, bir yeniliği, ilerlemeyi, gelişmeyi, araştırma ya da uygulama sonuçlarını içermek üzere araştırma makaleleri, uygulama makaleleri, derleme makaleleri, çeviri makaleleri ve kısa makaleler olabilir.
- (c) Dergide üyelerimize faydalı olabilecek imalat ve teknoloji ile ilgili araştırma ve çalışmaların sunulduğu veya firma ve kuruluşların tanıtıldığı yazılar yayımlanabilir.

- (d) Derginin kapsamına giren konularda düzenlenen yurtiçi ve yurtdışı konferans, seminer, vb. etkinliklere ve ayrıca bu konulardaki kitap, dergi vb. yayınlara ait duyurular yer alır.

Makalelerin Değerlendirilmesi

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, yayın kalitesi olarak belirli bir düzeyin üstünde kalmayı amaçlamıştır. Türkiye koşullarını da gözönüne alarak, bu kalite düzeyinin sürdürülmesi için gerekli tüm çaba ve titizlik gösterilecektir. Dergi'ye gelen her makale kesinlikle incelemeden geçirilecek ve bu amaçla mümkün olduğu kadar Türkiye çapında ya da yurtdışında konunun uzmanı hakemler tarafından değerlendirilmesine özen gösterilecektir. İnceleme ve değerlendirme sonuçları hakkında makale yazarlarına bilgi verilecektir.

YAYIN HAKKI

Dergide yayımlanan makalelerin her türlü yayın hakkı Makina Tasarım ve İmalat Derneği'ne aittir. Dergideki yazılar, yazılı izin almadan başka yerde yayımlanamaz ve çoğaltılamaz.

ÇALIŞMA İLKELERİ

Derginin yasal sahibi, MAKİNA TASARIM VE İMALAT (MATİM) DERNEĞİ'dir.

"Dergi Yayın Kurulu" dergi yönetimi ile ilgili organdır. Dergi Yayın Kurulu, MATİM Derneği Yönetim Kurulu tarafından bir yıl süre ile seçilir. Yayın Kurulu derginin yayın ilkelerine uygun yayımı ile yükümlüdür. Yayın Kurulu faaliyetleri konusunda MATİM Derneği Yönetim Kuruluna bilgi verir ve onayını alır.

Journal of
MECHANICAL
DESIGN
AND
PRODUCTION

Journal of Mechanical Design and Production is a periodical, published by the Turkish Mechanical Design and Production Society, METU, Ankara, Turkey. It is one of the society's aims, to publish qualified research and review papers in Turkish. The published papers are strictly refereed to maintain a high scientific and engineering level at international standard.

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

Makina Tasarım ve İmalat Dergisi'ne yurt içinden ya da yurt dışından isteyen herkes yayımlanmak üzere makale gönderebilir. Gönderilen makalelerin dergi temel amaçlarına uygun ve dergi kapsamı içinde olması ve aşağıdaki makale kabul ilkelerini sağlaması gerekmektedir. Dergi Yayın Kuruluna gelen her makale en az iki hakem tarafından değerlendirilir ve sonuç olumlu ya da olumsuz olsa da, yazarına bildirilir.

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

- Araştırma Makaleleri.
- Uygulama Makaleleri.
- Derleme Makaleleri: Belirli bir konu üzerinde bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri zengin bir kaynakçaya dayanarak aktaran ve bunların değerlendirmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
- Çeviri Makaleler: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
- Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergide yayımlanan bir makaleyi tartışan yazılardır.
- Diğer: Yukarıda tanımlanan içerikte olmayan, ancak üyelerimize faydalı olabilecek, imalat ve teknoloji ile ilgili çalışma ve araştırmaların sunulduğu, firma ve kuruluşların teknik özelliklerinin tanıtıldığı yazılardır.

Hakem değerlendirmesi için makaleler, biri orjinal olmak üzere dört basılmış kopya ile birlikte bir de elektronik kopyası Makina Tasarım ve İmalat Derneği Yayın Kurulu'na bir başvuru formu ile gönderilmelidir. Bu başvuru formu <http://www.me.metu.edu.tr/matim> sayfasından bulunabilir.

Yazarlar, yayımlanma kabulünü takiben makalenin en son halini elektronik ve bir basılmış kopya olarak göndermelidir. Elektronik kopya makalenin basılmış halinin aynısı olmalıdır. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır. Makalenin kaydedildiği disket/CD veya e-mail kullanılan kelime-işlemci paket programı ve sürümü belirtilerek gönderilmelidir.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

Kullanılan dilin olabildiğince basit, anlaşılır ve kesin olmasına özen gösterilmelidir. İleri düzeyde teknik ya da alışılmamış kavramlar kullanmak gerektiğinde, bunlar uygun bir şekilde tanımlanmalı ve yeterince açıklanmalıdır.

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

- Makalenin adı
- Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
- Özet ve anahtar kelimeler
- Makalenin ana kısmı
- Teşekkür (gerekli ise)
- İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler
- Kaynakça
- Ek(ler) varsa

Makalenin adı, olabildiğince kısa, gereksiz ayrıntıdan arınmış olmalı, ancak gerekli anahtar sözcükleri içermelidir.

Yazarların ad ve soyadları, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve bulunduğu il verilmelidir. Ayrıntılı görev ve adres ise ayrı bir kağıtta ve yazarların kısa özgeçmişleri ile birlikte belirtilmelidir.

Özette sadece sonuçlar değil makalenin tümü çok kısa ve öz şekilde açıklanmalıdır. Özet, makalenin konusu, kapsamı ve sonuçları hakkında fikir verebilmeli, ilgili anahtar sözcük ve deyimleri içermelidir. 100 kelimeyi geçmeyen Türkçe özetin ve anahtar sözcüklerin İngilizcesi de konulmalı ve makale başlığının İngilizcesi de mutlaka yazılmalıdır. Bu konuda istenirse dergi Yayın Kurulu yardımcı olabilir.

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun tanımlanmalı, çözüm yolları ve diğer bilgiler verilerek sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi sunulmalıdır.

Teşekkür kısmında gerekiyorsa kişi, kuruluş ya da firmalara teşekkür edilebilir. Özellikle firma adlarının bu bölümünün dışında başka bir yerde verilmemesine özen gösterilmelidir.

Başlıklar

Gerek makalenin yapısını belirlemek, gerekse uzun bölümlerde düzenli bir bilgi aktarımı sağlamak için üç tür başlık kullanılabilir:

- Ana Başlıklar,
- Ara Başlıklar,
- Alt Başlıklar.

Ana Başlıklar: Bunlar, sıra ile, özet, makalenin ana kısmının bölümleri, teşekkür (varsa), kaynakça, ekler (varsa)'den oluşmaktadır. Ana başlıklar büyük harflerle yazılmalıdır.

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

Alt Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harflerle yazılmalı ve hemen başlık sonunda iki nokta üstüste konularak yazıya aynı satırdan devam edilmelidir.

Matematiksel Bağlantılar

Matematiksel bağlantılar, daktilo ile veya elle anlaşılır şekilde açık ve seçik olarak yazılmalı, Türkçe alfabenin dışındaki karakterleri sayfanın sol tarafındaki boşlukta ayrıca ne oldukları yazı ile belirtilmelidir. Üst ve alt harf veya rakamlar belirgin bir şekilde yazılmalıdır. Özellikle daktilo kullanımında "l" (le) harfi ile "1" (bir) sayısının, "O" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağlantılar 1 (bir)'den başlayarak sıra ile numaralandırılmalı ve bu numaralar eşitliğin bulunduğu satırın sağ kenarına parantez "()" içinde verilmelidir.

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

Şekiller, küçültme ve basımda sorun yaratmamak için siyah mürekkep ile, düzgün ve yeterli çizgi kalınlığında aydın ve beyaz bir kağıda çizilmelidir. Her şekil A4 boyutunda ayrı bir sayfada olmalıdır. Şekiller 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her şeklin altına alt yazılarıyla birlikte yazılmalıdır. Çizelgeler de şekiller gibi, 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her çizelgenin üstüne başlığıyla birlikte yazılmalıdır.

Resimler parlak sert (yüksek kontrastlı) fotoğraf kağıdına basılmalıdır. Ayrıca şekiller için verilen kurallara uyulmalıdır. Özel koşullarda renkli resim baskısı yapılabilecektir.

Çizelge başlıklarının sadece ilk kelimesinin baş harfi büyük harfle, diğer harfleri ve kelimeler küçük harfle yazılmalıdır. Çizelge başlıkları, ayrıca bir sayfada da sıra ile verilmelidir.

Dip Notu

Dip notu gereken yerlerde bu bir üs numarası 1 ile belirtilmelidir. Buna karşılık gelen dip notu aynı sayfanın altında ara metinle bir çizgi ile ayrılmış olarak verilmelidir.

Kaynakça

Makale içinde gönderme yapılan (atıfta bulunulan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez [] içinde verilmelidir. Dergilerde yayımlanan makaleler, kitaplar, raporlar, tezler, kongre ve sempozyumlarda sunulan makaleler aşağıdaki örneklerde verilen şekilde yazılmalıdır.

Dergi Makalesi

1. Richie, G.S., Nonlinear Dynamic Characteristics of Finite Journal Bearings, *ASME, J. of Lub. Technology*, 105 (1983) 3, 375-376. Kitap

2. Shigley, J.E. ve Mitchell, L.P., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983. Rapor

3. Arslan, A.V. ve Novoseletsky, L.A., *Mathematical Model to Predict the Dynamic Vertical Wheel/Rail Forces Associated with Low Rail Joint*, AAR Technical Center, Technical Report, No.R-462, October 1980.

Kongre Makalesi

4. Adalı, E. ve Tunali, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, *1. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler daktilo ile A4 kağıdının tek yüzüne, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeteri kadar boşluk bırakılmalıdır. Şekillerin orjinalleri de dahil olmak üzere makale üç kopya gönderilmelidir.

Kabul edilen makaleler dergi için yapılan dizgi ve şekilsel düzenlemeden sonra kontrol için basımdan önce yazarına gönderilir.

Yayımlansın veya yayımlanmasın gönderilen makaleler yazarına geri gönderilmez. Yazılardaki fikir ve görüşler yazarına, çevirden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.