

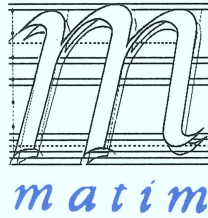
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 5

Sayı : 1

Mayıs 2003



Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ODTÜ

Metin AKKÖK
Can ÇOĞUN
Suat KADIOĞLU
İlhan KONUKSEVEN (Sorumlu Yayın Yönetmeni)
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
Gazi Ü
ODTÜ
ODTÜ
ODTÜ

M.A. Sahir ARIKAN
Tuna BALKAN
Erhan BUDAK
Melik DÖLEN
Hüseyin FİLİZ
Necdet GEREN
Mustafa İ. GÖKLER
Erk İNGER
Haydar LİVATYALI
Ferruh ÖZTÜRK
Levend PARNAS
Ömer SAATÇIOĞLU
O. Selçuk YAHŞI

ODTÜ
ODTÜ
Sabancı Ü
ODTÜ
Gaziantep Ü
Çukurova Ü
ODTÜ
Roketsan Gn. Md.
İTÜ
Uludağ Ü.
ODTÜ
ODTÜ
ENVY A.Ş.

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: 5 Sayı: 1 Mayıs 2003

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 5 No: 1 May. 2003

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 2003 yılı içinde gerçek kişiler için 6.000.000 TL, firma ve kuruluşlar için 30.000.000 TL, öğrenciler için 3.000.000 TL'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 30441 235339

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

Piramidal Bir Yüzeyin CNC Freze Tezgahlarında Düz Alınlı Parmak Freze Çakısı ile İmalatının Araştırılması 1

Cihan ÖZEL

Üç Temel Görünüşü Verilen Nesnelerin Autocad 2000 Ortamında Otomatik 3B Modellerini Oluşturma 9

İsmail ŞAHİN
Hüseyin R. BÖRKLÜ

Difüzyon Sert Lehimlemesi ile Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi 22

Behçet GÜLENC

Sıkıştırma Oranının Artışının LPG ile Çalışan Buji ile Ateşlemeli Taşıt Motorunun Gücü ve Yakıt Ekonomisine Etkisi 29

Ali AKBAŞ
Yakup SEKMEN
Perihan ERDURANLI

Sabit Yük ve Sürekli Rejimde Çalışan Pnömatik Sistemler için Etkileşimli Devre Tasarımı 35

Yakup TURGUT
İhsan KORKUT

Dizaltı Ampute Yumuşak Doku Mekanik Özelliklerinin Araştırılması için Deneysel Cihazın Tasarımı ve Üretimi 42

Ergin TÖNÜK

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE
BİLİMSEL ETKİNLİKLER 50

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

Piramidal Bir Yüzeyin CNC Freze Tezgahlarında Düz Alınlı Parmak Freze Çakısı ile İmalatının Araştırılması

Cihan Özel
Y. Doç. Dr.

Fırat Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Makine Mühendisliği Bölümü,
Elazığ.

Bu çalışmada, piramidal yüzeylerden biri olan eliptik paraboloidin CNC freze tezgahında düz alınlı parmak freze çakısı ile imalatı amaçlanmıştır. Bu şekilde bir imalat için, eliptik paraboloidin imalat denklemleri çıkartılmış ve takım yollarının hesabı için, Fanuc işletim sistemli makro programlama ile otomatik NC programının nasıl hazırlanacağı gösterilmiştir. Hazırlanan bu program ile DM 2900 tipi CNC freze tezgahında, örnek olarak paraboloid bir yüzey imal edilmiştir. Yapılan bu imalat sonunda, imalat denklemlerindeki parametrelerin hem imal edilen yüzeyin işleme hassasiyetini hem de imalat zamanını etkilediği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : *Eliptik Paraboloid Yüzey, Makro Programlama, CNC Dikey Freze Tezgahı.*

SEMBOLLER

- N_2 : Elips kesitleri işlemek için döngü sayısı,
 N_1 : Eliptik paraboloid yüzeyin yüksekliği için döngü sayısı,
 Z_{max} : Eliptik paraboloid yüzeyin maksimum yüksekliği (mm),
 a_{max} : Eliptik paraboloid yüzeyin maksimum kesiti üzerindeki uzunluk değeri (mm),
 H_m : Döngüde, H_n değerine bağlı olarak elde edilen toplam yükseklik (mm),
 H_n : Döngü içinde kullanılan minimum talaş kesme kalınlığı (mm),
 r : Parmak freze çakısının yarı çapı (mm),
 θ_m : Döngüde, θ_n açısına bağlı olarak elde edilen açı (derece),
 θ_n : Döngü için kullanılan en küçük açısal değişim miktarı (derece),
 θ_{max} : Elips kesitleri oluşturmak için kullanılan maksimum açı (derece),
 θ_{nmax} : Paraboloid yüzeyin maksimum kesitini işlemek için seçilen açı değeri (derece),
 a_n, b_n : Paraboloid yüzeyin herhangi bir kesiti için parametrik denklemlerindeki katsayılar,
G01 : Doğrusal enterpolasyon kodu,
G21 : Metrik sistem kodu,
G90 : Mutlak ölçülendirme kodu,
G40 : Takım çap telafisinin iptali,
G54 : İş parçası referans noktası,
G28 : Çakının tezgahın referans noktasına gitmesi,
M30 : Program sonu,
T01 : Takım numarası,

- M03 : İş mili dönme yönü (CW),
M73 : Çevrim başlangıcı,
M74 : Çevrim sonu,
S : İş milinin devir sayısı (dev/dak),
F : Çakının devir başına ilerleme miktarı (mm/dak),
A, B, C : Eliptik paraboloid yüzeyin denklemindeki katsayılar,
X, Y, Z : CNC Freze tezgahının eksen yönleri,
 X_m, Y_m, Z_m : Eliptik paraboloidin yüzeyin imalat denklemleri,
 X_n, Y_n, Z_n : Eliptik paraboloidin yüzeyin parametrik denklemleri,

GİRİŞ

Sayısal denetimli takım tezgahları, belirli bir parçayı işlemek için kesici hareketlerini ve yürütülmesi gereken işlemleri tanımlayan NC kodunda yazılmış, kelime veya blok dizilerinden oluşan program tarafından kontrol edilir. ISO 6983/1 gibi uluslararası NC kodu standartları olmasına rağmen, farklı üreticiler tarafından geliştirilmiş NC sistemleri farklı NC kodlarını kullanırlar. Bu yüzden herhangi bir parça için hazırlanan NC programı, farklı NC işletim sistemlerinde kullanılamamaktadır. Bu durum ise, imalat açısından birtakım güçlükler sebeptir.

Kalıp yüzeylerinin oluşturulması için kavisli yüzeylerin kullanılmak zorunda olduğu bir çok durum vardır. Bu tür yüzeylerin CNC freze tezgahlarında imalatına yönelik çeşitli çalışmalar devam etmektedir. Bundan önceki bir çalışmada,

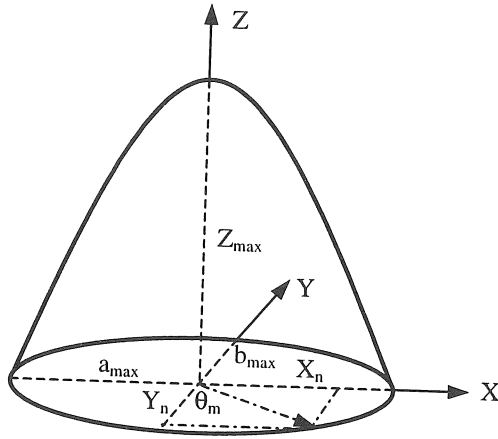
Takım Yolu İçin İmalat Denklemlerinin Çıkarılması

Yukarıda yazılan (1) denklemi incelenirse denklemin, Z' nin sabit değerlerine göre bir elips denklemi olduğu görülmektedir. Buradan hareketle, CNC dikey freze tezgahında eliptik paraboloid şeklindeki bir yüzeyin, Z_{max} yüksekliği boyunca XY düzlemine paralel düzlemlerdeki elipslerin işlenmesi ile imal edilebileceği görülmektedir (Şekil 3). Yine bu şekilde bir imalat için, yüzeye ait parametrik denklemlerin gerekli olacağı göz önünde bulundurularak eliptik paraboloidin parametrik denklemleri, Şekil 3 dikkate alınarak aşağıdaki gibi yazıldı.

$$X_n = a_n \cdot \cos\theta_m \quad (4)$$

$$Y_n = b_n \cdot \sin\theta_m \quad (5)$$

$$Z_n = \text{sabit} \quad (6)$$



Şekil 3. Eliptik paraboloid yüzey

Ancak parmak freze çakısı parçayı, (4), (5) ve (6) denklemlerine göre işlediğinde yüzey gerçek boyutlarında imal edilemez. Çünkü denklemlere, çakı yarıçapı (r) ilave edilmemiştir. Bunun için yukarıdaki denklemlere, çakı yarı çapı ile ilgili ifadeler ilave edildi ve imalat denklemleri sırası ile aşağıdaki gibi yazıldı.

$$X_m = a_n \cdot \cos\theta_m + r \cdot \cos\theta_m \quad (7)$$

$$Y_m = b_n \cdot \sin\theta_m + r \cdot \sin\theta_m \quad (8)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (9)$$

Ancak (7), (8) ve (9) denklemlerine göre parmak freze çakısının yükseklik boyunca, XY düzlemine paralel düzlemlerde elips şeklindeki kesitleri işleyebilmesi için, Z' nin her hangi bir

değerine karşılık gelen a_n ve b_n değerlerinin de bulunması gerekir. Bunun için (1) denklemi,

$$X^2/(C \cdot Z_m/A) + Y^2/(C \cdot Z_m/B) = 1 \quad (10)$$

yukarıdaki gibi yeniden düzenlendi. $Y=0$ ve $X=0$ için, a_n ve b_n ifadeleri sırası ile,

$$a_n = \pm(C \cdot Z_m/A)^{1/2} \quad (11)$$

$$b_n = \pm(C \cdot Z_m/B)^{1/2} \quad (12)$$

şeklinde yazıldı. Daha sonra bu ifadeler (7) ve (8) denklemlerinde yerlerine yazılarak,

$$X_m = (C \cdot Z_m/A)^{1/2} \cdot \cos\theta_m + r \cdot \cos\theta_m \quad (13)$$

$$Y_m = (C \cdot Z_m/B)^{1/2} \cdot \sin\theta_m + r \cdot \sin\theta_m \quad (14)$$

$$Z_m = \text{sabit} \quad (15)$$

denklemleri elde edildi. Parmak freze çakısının, (13), (14) ve (15) denklemlerine göre parçayı işleyebilmesi için, Z_m ve θ_m deki değişim aralıklarının da belirlenmesi gerekir.

Z_m için değişim aralığı, $0 \leq Z_m \leq 50$ mm ve θ_m açısı için değişim aralığı da $0 \leq \theta_m \leq 360^\circ$ olarak yazıldı (Şekil 3). Parmak freze çakısı bu değişim aralıklarına göre, G01 doğrusal enterpolasyon kodu ile hareket ettirildi ve paraboloid yüzey, gerçek ölçülerine göre imal edildi. Eliptik paraboloidin yüzeyi imal edilirken çakı merkezi payı için, G42 kodu kullanılmadı. Çünkü bu araştırmada, (13), (14) ve (15) denklemlerindeki parametrelerin işlenen yüzey üzerindeki etkilerinin incelenmesi düşünüldü.

ELİPTİK PARABOLOİD YÜZEYİN NC PROGRAMI İLE İŞLENMESİ

Eliptik paraboloid şeklindeki yüzeylerin, CNC dikey freze tezgahlarında imalatı için hazırlanan NC programı aşağıda yazıldığı gibidir.

```

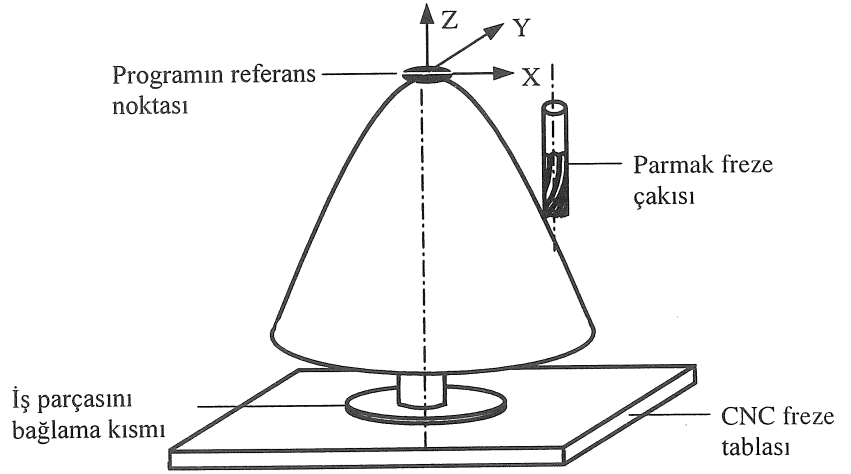
N05 G21;
N10 G90;
N15 G54;
N20 G40;
N25 T01;
N30 F50;
N35 M03 S1250;
N40 #0=3;
N45 #1=7;
N50 #2=81;
N55 #4=50;
N60 #3=360;
N65 #5=0.25;
N70 #6=0.05;
N75 #7=6;
N80 #10=0.05;
    
```

N85 #11=0;
 N90 G00 X0 Y0 Z0;
 N95 #8=#4/#6;
 N100 #40=#2*#4/#0;
 N105 #41=SQR #40;
 N110 M73 N#8;
 N115 #12=#2*#10/#0;
 N120 #13=#2*#10/#1;
 N125 #14=SQR #12;
 N130 #15=SQR #13;
 N135 #16=COS #11;
 N140 #17=SIN #11;
 N145 #18=#14*#16+#7*#16;
 N150 #19=#15*#17+#7*#17;
 N155 G01 X#18 Y#19;
 N160 G01 Z-#10;
 N165 #42=#5*#41/#14;
 N170 #9=#3/#42;
 N175 M73 N#9;
 N180 #20=COS #11;
 N185 #21=SIN #11;
 N190 #22=#14*#20+#7*#20;
 N195 #23=#15*#21+#7*#21;
 N200 G01 X#22 Y#23 Z-#10;
 N205 #11=#11+#42;
 N210 M74;
 N215 #10=#10+#6;
 N220 #11=0;
 N225 M74;
 N230 G00 Z2;
 N235 G28;
 N240 M30;

Hazırlanan NC programında, sırası ile aşağıdaki işlemler yapılmaktadır: N05 ile N35 satırları arası; program ve tezgah çalıştırma işlemlerinin yapıldığı kısım, N40 ile N55 satırları arası; sırası ile, A, B, C, Z_{max} gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı kısım, N60 ile N90 satırları arası; sırası ile, θ_{max} , θ_{nmax} , H_n , r , H_m , θ_m , gibi değerlerin makro değişkenlere atıldığı ve G01 X0 Y0 Z0 işleminin yapıldığı kısım, N95 ile N105 satırları arası; sırası ile, $N_1=Z_{max}/H_n$, $a_{max}=(C \cdot Z_{max}/A)^{1/2}$, gibi işlemlerin yapıldığı kısım, N110 ile N160 satırları arası; talaş kesme kalınlığının hesaplandığı döngü kısmı, N165 ile N170 satırları arası; her bir yeni kesiti işlemek için $\theta_n=\theta_{nmax} \cdot a_{max}/a_n$ ifadesi ile θ_n açısının ve $N_2=\theta_{max}/\theta_n$ döngü sayısının hesaplandığı kısım, N175 ile N210 satırları arası; paraboloid yüzeyin Z_{max} yüksekliği boyunca XY düzlemine paralel düzlemlerde elips kesitlerinin işlendiği döngü kısmı, N215 ile N225 satırları arası; $H_m=H_m+H_n$ ve $\theta_m=0$ işlemlerinin yapılarak talaş kesme yüksekliğinin hesaplandığı N110 numaralı satıra dönüş kısmı, N230 ile N240 satırları arası; programı durdurma işlemlerinin yapıldığı kısım.

Eliptik paraboloid yüzeyin imal edilebilmesi için taslak parçanın, CNC freze tezgahına uygun bir

şekilde bağlanması gerekir. Bu çalışmada, taslak parça tezgaha civata ve pabuçlar yardımı ile aşağıdaki gibi bağlandı (Şekil 4).



Şekil 4. Parçanın CNC freze tezgahına bağlanması ve işlenmesi

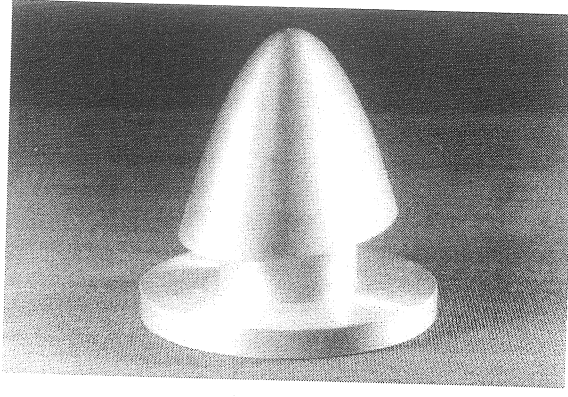
Şayet imal edilen parça birden fazla bağlamaya tabi tutulacaksa, ikinci ve daha sonraki bağlamalarda iş parçasının sıfır noktası değişebilir. Bu durum, parçanın hassas bir şekilde imal edilmesini engelleyebilir. Bunu ortadan kaldırmak için iş parçası, CNC freze tezgahının tablasına, bir torna tezgahının universal aynası ile bağlanabilir.

Yüzey, yukarıdaki program ile kaba ve ince işlenerek imal edilebilir. Bu çalışmada, yüzeyi kaba işlemek için çakı tezgahta bağlı iken programda ilgili satırlar aşağıdaki gibi yazıldı.

N30 F70;
 N35 M03 S1000;
 N65 #5=1.5
 N70 #6=0.75;
 N75 #7=6.25;
 N80 #10=0.75;

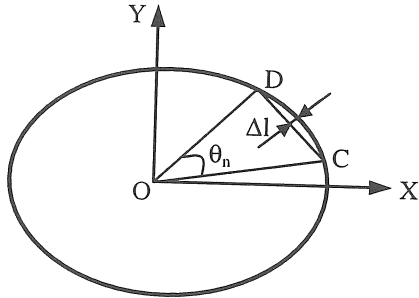
N30 numaralı satırda; çakının ilerlemesi 70 mm/dk, N35 numaralı satırda; iş milinin devri 1000 dev/dak, N65 numaralı satırda; θ_{nmax} açısı 1.5^0 seçildi, N70 numaralı satırda; minimum talaş kesme kalınlığı $H_n=0.75$ mm, N75 numaralı satırda; ince işleme için düşünülen talaş kesme payı, 0.25 mm olarak çakı yarıçapına ilave edildi (XY düzlemine göre) ve yine N80 numaralı satırda H_n 'in başlangıç değeri olarak 0.75 mm seçildi. Program seçilen bu değerlere göre çalıştırılarak eliptik paraboloid kabaca işlendi. Daha sonra, ince işlemek (son işleme) için ilgili satırlar ana programda yazıldığı gibi düzenlendi ve eliptik paraboloid ince olarak işlendi. İmal edilen yüzeyin pürüzlülüğü Mitutoyo SurfTest 211 marka bir

pürüzlük ölçme aleti ile $R_a=2.25 \mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür (Şekil 5).



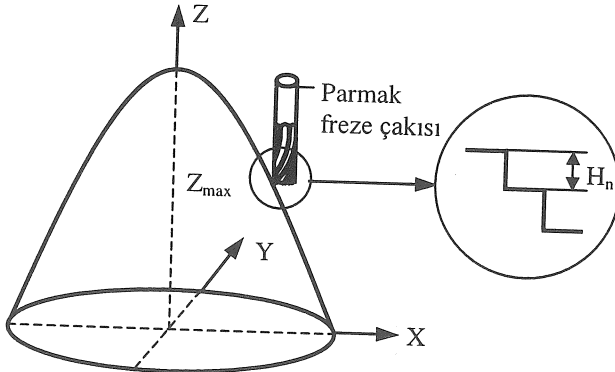
Şekil 5. İmalatı tamamlanmış paraboloid yüzey ($H_n=0.05 \text{ mm}$ ve $\theta_n=0.25^\circ$)

Bu program, θ_n ve H_n gibi önceden belirlenebilen hassasiyet değerlerine göre çalışır. Bu hassasiyet değerlerinin anlamları; θ_n için girilen değerler, eliptik paraboloid yüzeyin Z eksenı boyunca XY düzlemine paralel düzlemlere göre elipslerinin işleme hassasiyetini belirler (Şekil 6).



Şekil 6. θ_n açısı ve eliptik kesitin işleme hassasiyeti

H_n için girilen değerler ise, eliptik paraboloid şeklindeki yüzeyi, Z eksenı üzerinde Z_{max} yüksekliği boyunca işlemek için talaş kesme kalınlığını ifade eder (Şekil 7).

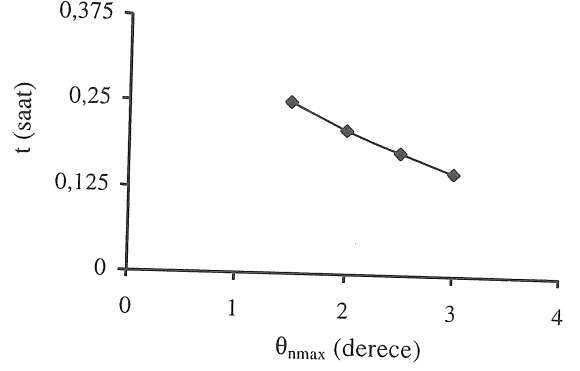


Şekil 7. Talaş kesme kalınlığı ve yüzeyin işleme hassasiyeti

Bu her iki değer (θ_n ve H_n) de, tezgah hassasiyeti dikkate alındığında 0.001 olabilir. Yine yukarıdaki NC programında, $A=B$ olarak seçilmesi halinde program döne paraboloid (dairesel kesitli) şeklindeki yüzeyleri de imal edilebilir.

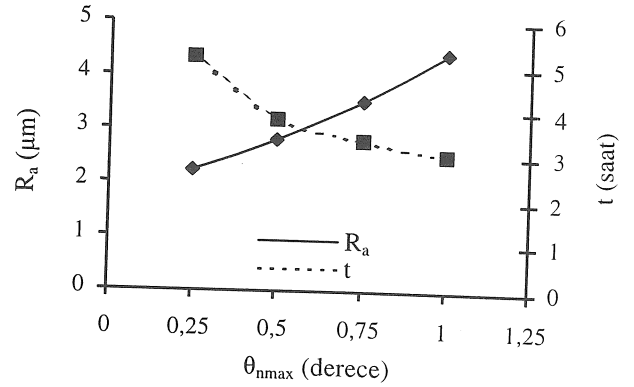
4. DENEY SONUÇLARI

Konik yüzeyin, hazırlanan program ile Dyna 2900 Myte tipi CNC freze tezgahında kaba işleme için, $\theta_{n\text{max}}$ açısına göre imalat sürelerinin değişim grafiği aşağıdaki gibidir (Şekil 8).



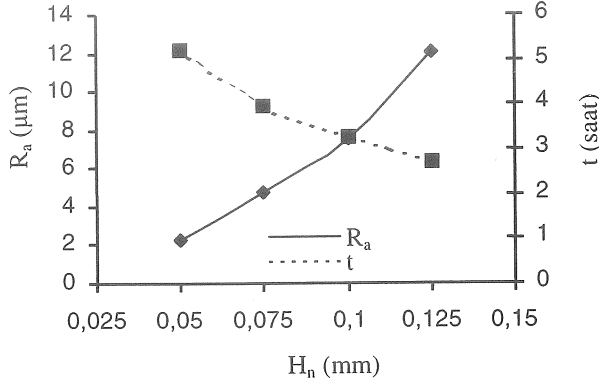
Şekil 8. Kaba işleme için $\theta_{n\text{max}}$ açısı ve imalat süreleri

Burada kaba işleme için yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafiği verilmemiştir. Çünkü kaba işlemede yüzey pürüzlülük değerleri kabul edilebilir sınırlar içerisinde değildir. Konik yüzeyin ince işlemede $\theta_{n\text{max}}$ açısına göre, imalat süresi ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafiği ise aşağıdaki gibidir (Şekil 9).



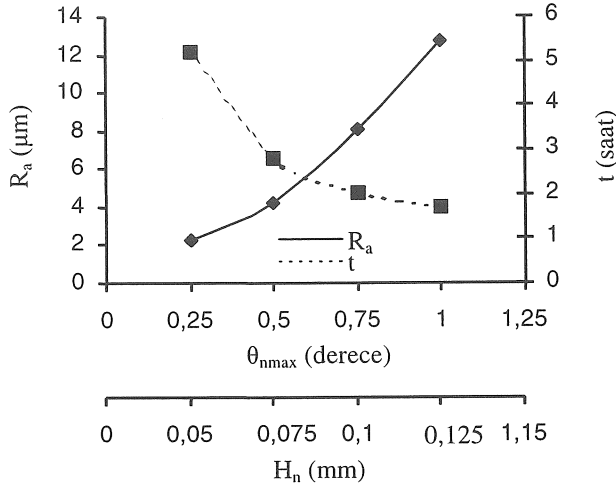
Şekil 9. İnce işleme için $\theta_{n\text{max}}$ açısına göre yüzey pürüzlülüğü ve imalat süreleri

Yine aynı program ile konik yüzeyin ince işleme için H_n 'deki değişimlere göre, imal imalat süresi ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafiği de aşağıdaki gibidir (Şekil 10).



Şekil 10. İnce işleme için H_n değerine göre yüzey pürüzlülüğü ve imalat süreleri

Yine bunlarla beraber, hem $\theta_{n\max}$ ve hem de H_n 'deki değişimlere göre yüzeyin işlenmesi halinde, imalat süresi ve yüzey pürüzlülük değerlerinin değişim grafikleri de aşağıdaki gibidir (Şekil 11).



Şekil 11. $\theta_{n\max}$ ve H_n değerlerine göre yüzey pürüzlülüğü ve imalat süreleri

TARTIŞMA

Bu çalışmada, paraboloid şeklindeki yüzeylerin hazırlanan genel bir imalat programı ile dik işlem merkezli CNC freze tezgahında, θ_n ve H_n gibi iki hassasiyet değeri ile imal edilebileceği görülmüştür. θ_m açısındaki değişimlerin çok büyük seçilmesi halinde, eliptik paraboloidin hassas bir şekilde imal edilemeyeceği görülmektedir (Şekil 6). Çünkü θ_n açısı büyüdükçe, CD giriş uzunluğunun büyümesine bağlı olarak eğriden sapma (Δl) miktarı artacağından yüzeyin işleme hassasiyetinin bozulmasına sebep olmaktadır. θ_n açısı küçüldükçe, eğriden sapma miktarı azalacağından yüzeyin daha hassas imal edileceği görülmektedir. Bu durumun imalat süresini uzatacağı ancak bunun yanında yüzeyin pürüzlülüğünü azaltacağı görülmüştür (Şekil 9). Yine

bunlarla beraber, paraboloid yüzey işlenirken θ_n açısının aynı sabit değerde olması, paraboloidin Z eksenini boyunca her bir kesitinin farklı bir hassasiyet ile işlenmesine ve kesitlerin büyümesine bağlı olarak da, parçanın yüzey hassasiyetinin bozulmasına sebep olduğu görülmüştür. Çünkü Z değerlerindeki artımlara bağlı olarak (13) ve (14) denklemleri gereği, X_m ve Y_m uzunlukları büyümektedir. Bu büyümeye bağlı olarak da, her bir kesit için eğriden sapma miktarı artmakta ve yüzeyin aynı hassasiyet ile işlenmesi engellenmektedir. Bunun için θ_n açısının, piramidal yüzeyin maksimum kesitinin dikkate alınarak hesaplanmasının faydalı olacağı sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada, eliptik paraboloidin her bir kesiti için θ_n açısı, yüzeyin maksimum kesitini işlemek için seçilen $\theta_{n\max}$ açısı dikkate alınarak, $\theta_n = \theta_{n\max} \cdot a_{\max} / a_n$ ifadesi ile hesap edildi. Bu bağıntıya göre elipslerdeki sapma miktarı (Δl) eşit tutularak, paraboloid yüzeyin kesitleri aynı hassasiyette imal edilmiştir (Şekil 5). Yine seçilecek olan H_n değeri ne kadar küçük olursa, Z eksenini boyunca Şekil 7' deki merdivenlerin yüksekliği azalmakta ve buna bağlı olarak da, yüzeyin işleme hassasiyeti artmaktadır. Bu durumun da imalat süresini uzatacağı ancak bunun yanında yüzey pürüzlülüğünü azaltacağı görülmüştür Şekil (10).

Bu çalışmada, eliptik paraboloid yüzeyi işlemek için piyasalarda uzuz ve yaygın olarak kullanılan düz alınlı parmak freze çakısı seçilmiştir. Aynı yüzeyin küresel uçlu parmak freze çakısı ile işleme durumunun araştırılmasında da fayda vardır. Yine paraboloid yüzeyin maksimum kesitinden tepe noktasına doğru işlenmesi halinde; CNC frezenin iş milinin, yüzeyin işleneceği kısma çarpma durumu oluşabilir. Bu problem, helis boyu uzun olan parmak freze çakıları ile giderilebilir ancak bu durumda da, bu çakı parçayı işlerken esneyebilir ve yüzeyin ölçülerine göre imal edilmesini engelleyebilir. Yine eliptik paraboloid yüzeyin dairesel kesitli silindirik malzemeden imal edilmesi halinde, çakının daha fazla talaş keseceği ve buna bağlı olarak da daha çabuk körleneceği görülmektedir. Çünkü bu durumda yüzeyin açılacağı kısmın stok hacmi yaklaşık olarak 219.343 cm^3 iken bu kısmın prizmatik olması halinde, stok hacmi 184.926 cm^3 dır (Şekil 2). Ancak dikdörtgen kesitli malzeme kaba işlenirken çakının taslak parçanın köşe kısımlarında, darbeye maruz kaldığı görülmüştür.

SONUÇ

1. Mühendislik tasarımlarında kullanılan paraboloid yüzeylerin düz alınlı parmak freze çakıları ile imalatları genelleştirilmiş ve bu çakılar ile yüzeyin işleme durumları belirlenmiştir.

2. Konik yüzeylerin CNC tezgahlarında, θ_{nmax} ve H_n gibi iki hassasiyet değerleri ile imal edilebileceği görülmüştür.
3. İmalat denklemlerindeki θ_n ve H_n değerlerinin hem işlenen yüzeyin yüzey pürüzlülüğünü hem de imalat zamanlarını etkilediği belirlenmiştir.
4. Konik yüzeyler işlenirken yüzeyin her bir kesitinin aynı hassasiyet değeri ile imal edilebilmesi için θ_n açısının, yüzeyin maksimum kesitinin dikkate alınarak hesaplanmasının faydalı olacağı görülmüştür.

INVESTIGATION OF MANUFACTURING OF A PYRAMIDAL SURFACE BY USING END MILL ON CNC MILLING MACHINES

The aim of this study is to manufacture an elliptical paraboloid which is one of the pyramidal surfaces by using end mill on the CNC milling machines. For this purpose, the manufacturing equations were obtained and it was shown how automatic NC programme was prepared by using macros programme with Fancu operating system for the calculation of tool paths. A work piece was manufactured on the DM 2900 CNC milling machine by using the prepared programme. In the result of this manufacturing process, it was seen that the parameters in the manufacturing equations affected both machining accuracy of the manufactured surface and the production time.

Keywords : Elliptical paraboloid surface, Macro programming, CNC vertical milling machine.

KAYNAKÇA

1. Daoyuan, Y., Zhengcheng, D., Xiong, Z., and Jinning, L., Local Discretization Without Tolarence in The CAD/CAM and NC Programming of a Sculptured Surface, *Journal of Materials Proccesing Technology* 57 195-200, (1995).
2. Vickers, G.W., and Quan, K.W., Ball-mills versus end-Mills for Curved Surface Machining, Trans. ASME. *Journal of Engineering for Industry*, 22/Vol.111, February (1989).
3. Choi, B.K., and Jun, C.S., Ball-end Cutter Interference Avoidance in Nc Machining of Sculptured Surfaces, *Computer-Aided Design* Vol.21 No.6July/August (1989).
4. Elber, G., and Cohen, E., Toll Path Generation for Freefrom Surface Models, *2nd ACM Solid Modeling*, 93-5/Montreal, Canada, (1993).
5. Choi, B.K., Lee, C.S.,Hwang, J.S. and Jun, C.S., Compound Surface Modelling and Machining, *Computer-Aided Design*, Vol.20, No.3 April, (1988)
6. Hwang, J.S., Interference-free Tool-Path Generation in The NC Machining of Parametric Compound Surfaces, *Computer-Aided Design* Vol.24, No.12, December, (1992).
7. Bobrow, J.E., NC Machine Tool Path Generation From CSG Part Representations, *Computer-Aided Design*, Vol.17, No.2, March, (1985).
8. Park, S., Yang, M.Y.,and Lee C.W., *Simulation of NC Machining Using a Ball End Mill*, Korea Institute of Science and Technology, CAD/CAM Laboratory, (1998).
9. Golub, A.D., and Yang, D.C.H., Improved Trajectory Generation for Precision CNC Milling of Arbitrary Contours and Surfaces, *Precision Machining: Technology and Machine Development and Improvement ASME PED-* Vol.58., (1992)
10. Dereli, T. ve Filiz H., Automatic CNC Code Generation In Process Planning of Rotational And Prismatic Parts, *Politeknik Dergisi*, Cilt:3 Sayı:2 s.1-25, 2000.
11. Dereli, T. ve Filiz H., Optimisation of Process Planning Functions by Genetic Algorithms, *Computers & Industrial Engeneering*, Vol. 36, No.2, 281-308, 1999.
12. Karagöz, Y., Nümerik Kontrollü Tezgahlar İçin Programlama (CAM) Teknikleri, *Mühendis ve Makine*-Cilt 41 Sayı 483. Nisan 2000.
13. DM 2900 Operation Manuel, Dyna Mechatronics Inc. Ltd. 926 W. Maude Ave. Sunnyvale, Ca.94086 U.S.A., 1996.

Ismail Şahin
Araştırma Görevlisi

Hüseyin R. Börklü
Doç. Dr.

G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi
Makine Eğitimi,
Ankara

Üç Temel Görünüşü Verilen Nesnelerin Autocad 2000 Ortamında Otomatik 3B Modellerini Oluşturma

Bu makalede üç temel görünüş veya izdüşümleri verilen nesnelerin 3B modellerini bilgisayar ortamında oluşturmada kullanılacak yeni bir hacimsel yaklaşım tanıtılmaktadır. Bu yaklaşım: 2B nesne görünüşlerine ait dış profil ve iç ayrıntı yapılandırma elemanlarının tanınması, dış ve iç yapılandırma elemanları elde etme, görünüşlere ait elde edilen katıların doğru konuma getirilmesi için döndürülme ve taşınması, ve kesiştirme ile son katının elde edilmesini içermektedir. Tanıtılan bu metod kullanılarak Visual LISP kodunda yazılan ve AutoCAD 2000 ortamında çalışan bir program geliştirilmiştir. Bu program, çeşitli prizmatik ve silindirik nesnelerin YKG veya hacimsel modelleri hızlı bir şekilde oluşturabilmekte ve kullanıcıya sunabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Katı modelleme, yeniden yapılandırma, dik izdüşümler.

GİRİŞ

2B izdüşümlerden otomatik katı model oluşturma alanında yapılan çalışmalar tek ve çok görünüş yaklaşımları olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Tek görünüş yaklaşımları genelde nesne yorumlama üzerinde yoğunlaşmıştır. Yani bu çalışmalar daha çok 3B nesne oluşturmada kullanılacak 3B verilerin elde edilmesini amaçlamaktadır. Ayrıca 3B nesne elde etmeye yönelik bazı çalışmalar da vardır. Bunlar arasında Sugihara [1] ve Shiptalni [2] sınır temsili modeller üzerinde çalışmışlardır. Wang ve Grinstein'in çalışmaları düzlemsel ve eğri yüzeyli nesnelere ait temel elemanları elde edebilen çalışmalardır [3, 4]. Wang ve Grinstein, bu çalışmalarda tek görünüş olarak girilen 3B modellerin Yapısal Katı Geometri (YKG) ağaçlarını çıkartıp yeniden yapılandırmışlardır. Wu ve Lin ise, izometrik girdilerden yararlanarak YKG modeller elde etmişlerdir [5].

Otomatik katı model oluşturmaya yönelik çalışmalar, genelde çok görünüş yaklaşımları kapsar. Bu yaklaşımlar, girdi olarak iki veya daha çok görünüş kullanmaktadır. Ayrıca yardımcı görünüşlerden yararlanan çalışmalar da vardır. Bu çalışmalar, kullandıkları temsil tekniklerine göre tel kafes ve hacime dayalı (katı model/YKG) yaklaşımlar olarak iki ana başlık altında incelenebilir [6, 7].

Tel kafese dayalı çalışmalarda 2B izdüşüm verilerinden faydalanılarak tel kafes veya sınır temsili ile modellenmiş nesnelere elde edilmiştir. Tel kafese dayalı olarak 3B model elde eden ilk araştırma, Idesawa tarafından yürütülmüştür [8]. Bu çalışmada Idesawa, düzgün bir sırada nokta, doğru, yüzey ve 3B model elde etmiştir. Yaklaşım içerdiği hiyerarşik yapıdan dolayı aşağıdan-yukarı yaklaşım olarak da anılmaktadır [6, 7]. Diğer taraftan Wesley ve Markowsky tarafından geliştirilen algoritmalar ile de düzgün çokgen nesnelerin 3B modelleri elde edilmiştir [9]. Sakurai ve Gossard [10], geliştirdikleri köşe-tipi sınıflandırma metodu ile, silindirik, konik, küresel ve halkamsı yüzeylerden oluşan nesnelerin 3B modellerini elde etmişlerdir. Daha sonra You ve Yang altı görünüş kullanarak 3B modeller elde etmiştir [11]. Yöntem yardımcı görünüşleri kullanabilmekte ve olası görünüş eksikliklerini belirleyip giderebilmektedir. Shin ve Shin [12], 2B izdüşüm verileri ile 3B nesne oluşturma aşamaları boyunca elde edilen veriler arası ilişkiler kurarak deneme miktarlarını azaltan bir çalışma yapmıştır. Watanabe vd. [13], aşağıdan-yukarı yaklaşımlarda ortaya çıkan görünüş tutarsızlıklarını ele almıştır. Bu yaklaşım, girdi görünüşlerindeki kullanıcı hatalarını veya çizim programlarından kaynaklanan yanlış yorumları belirlemek için kullanılmıştır. Tanaka vd. [14], diğer çalışmalardan farklı olarak izdüşümlerin birden çok katı modelini belirlemeyi denemişlerdir. Kuo [15], dörtgen yüzeyli parçaların 2B çizimlerini otomatik yorumlayan ve bunlardan 3B nesne elde

eden bir çalışma yapmıştır. Dori ve Weiss [16], nesne dönüştürme ağları kullanarak 3B nesnelere elde etmişlerdir. Yöntemde 3B nesne elde etme işlemi oldukça uzun zaman almakta ve eksik görüntüler belirlenememektedir. Şahin ve Börklü [17, 18], aşağıdan-yukarı yaklaşıma dayalı çalışmalarında Sakurai'nin köşe-tip sınıflandırma yöntemini kullanarak düzlemsel modeller elde etmişlerdir. AutoCAD girdilerine uygulanan çalışmada, kullanılan ortak köşe belirleme yöntemi ile AutoCAD koordinat sisteminden kaynaklanan koordinat karışıklıkları giderilmektedir. Yan vd. [19], geometrik hesap hatalarını etkin bir şekilde düzelten bir algoritma tanıtmıştır. Ayrıca burada, girdi görüntülerindeki görünmez çizgiler dikkate alınmakta ve üst üste gelen yüzeylerdeki belirsizlikleri ortadan kaldıran bir yöntem uygulanmaktadır.

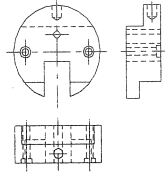
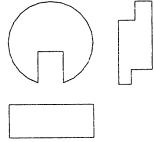
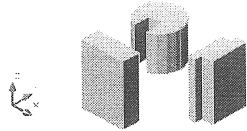
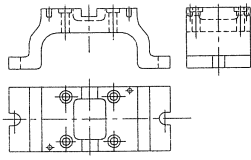
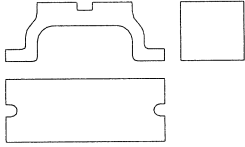
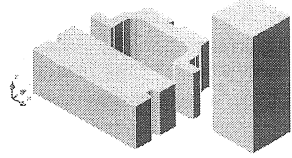
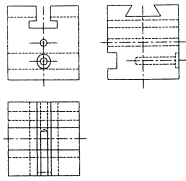
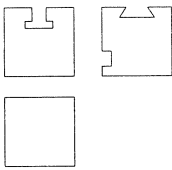
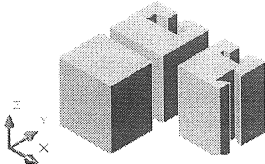
Hacime dayalı (katı model) yaklaşımlar, 2B izdüşümlerden faydalanarak nesnelere 3B katı modellerini oluşturmaktadır. Burada YKG yaygın kullanıldığı gibi çeşitli modelleme teknikleri de kullanılmaktadır (süpürme temsili vb.). Bu alandaki ilk çalışma, YKG temel elemanların belirlenmesi ve birleştirilmesine dayanan Aldefeld'in çalışmasıdır [20]. Daha sonra Aldefeld'in çalışmasındaki kullanıcı katkısı azaltan ve bireysel parça ilişkilendirilmesine hitap eden bir çalışma yapılmıştır [21]. Chen ve Perng [22], üç aşamalı bir işlemle 3B katı model elde etmeyi denemiştir. Bu işlemler: ayrıştırma, yeniden yapılandırma ve düzenleme şeklindedir. Yöntemle farklı kalınlıklardaki çok yüzlüler kullanıcı etkileşimli olarak modellenmektedir. Masuda ve Numao [23], değişken olmayan topoloji ve kabule bağlı doğru bakım sistemine (ATMS) dayalı üç görüntüleri katı modellere dönüştüren bir metod tanıtmışlardır. Metod, tüm katı adayları değişmeyen topoloji kullanan hücresel bir modelle kontrol etmektedir. Dutta ve Srivinas çalışmalarında, iki dik izdüşüm görünüşünü kullanarak katı modeller elde etmektedirler [24]. Burada işlem, bir köşeden başlar, tek tek yüzler ilave edilir ve bir katı oluşturulana dek sürer. Liu vd.'nin çalışması ise [25], 3B parçaların otomatik yapılandırması ve unsurların tanınmasını içermektedir. Shum vd. çalışmalarında [26], altı girdi görünüşü kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yaklaşımın ana basamakları: her görünüşü doğrusal olarak sündürme (süpürme tekniğine göre), ilişkili görüntüleri döndürüp birleştirme ve hacimsel kesiştirme ile son nesnenin elde edilmesini içermektedir. Shum vd. daha sonra [27], yöntemi üç görünüşü ve görünmeyen kenarları da içine alacak

şekilde genişletmişlerdir. Liu vd. [28], ise mühendislik çizimlerdeki geometrik ve topolojik ilişkilerden faydalanarak 3B nesne oluşturan bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada, nesne yapılandırma aşamalarında oluşabilecek hatalı elemanlar, Moebius kuralı ile ayrılmaktadır. Aynı araştırmacı bir başka çalışmada ise, eğri yüzeyli nesnelere (konik, eliptik, parabolik vb.) ele almıştır [29]. Burada izdüşümlerden tel kafes model ve daha sonra katı model oluşturulmaktadır. Suh vd. [30], iki görüntüyle ifade edilen çok yüzlü nesnelere ele alan bir çalışma yapmıştır. Şahin [31], hacimsel kesiştirme yöntemi kullanarak silindirik ve prizmatik parçaların katı modellerini elde etmiştir. Yöntem AutoCAD girdilerine uygulanmıştır.

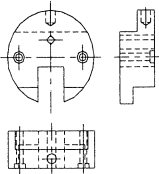
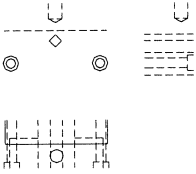
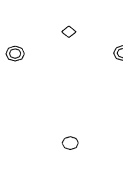
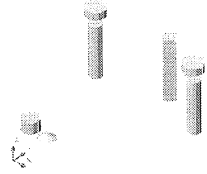
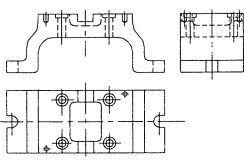
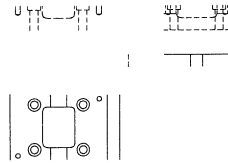
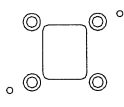
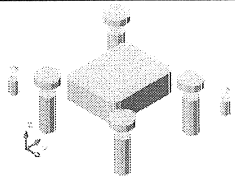
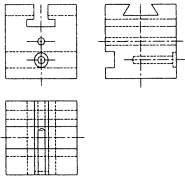
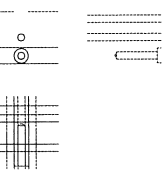

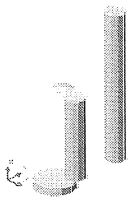
2B VE 3B TEMEL ELEMAN SINIFLANDIRMASI

Bu araştırma kapsamında yapılan çalışmada izdüşümleri oluşturan 2B temel elemanlar ve bunlardan elde edilen katı temel elemanlar sınıflandırılmaktadır. Sınıflandırma, 2B temel elemanların (doğru, yay, daire vb.) izdüşüm üzerindeki konumlarına göre yapılmaktadır. Öncelikle 2B temel elemanlar sınıflandırılmakta ve bu sınıflandırmaya paralel bir şekilde, katı temel elemanların oluşturulduğu kapalı bölgeler ve bu bölgelerin sündürülmesi ile oluşturulan katı temel elemanlar da sınıflandırılmaktadır. Bu Sınıflandırma yöntemi ile, katı model elde etme işlemi hiyerarşik bir sıra ile gerçekleştirilmektedir. Bu sınıflandırmaya göre;

- Görüntülerdeki izdüşümlerin dış hattını oluşturan 2B temel elemanlar dış elemanlar olarak isimlendirilmektedir. Dış hatların oluşturduğu kapalı alan ise dış alan olarak isimlendirilmektedir. Aynı şekilde dış alanların sündürülmesi ile oluşturulan katı temel elemanlar dış katılar olarak isimlendirilmektedir (Şekil 1).
- İzdüşüm dış hatlarının iç kısmında kalan 2B temel elemanlar (yay, çizgi, daire vb.) iç elemanlar olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2). İç elemanların oluşturdukları kapalı alanlar iç alanlar olarak adlandırılmaktadır. Bu kapalı alanların sündürülmesi ile de iç katılar oluşturulmaktadır. Şekil 2'de gösterilen iç katıların daha açık bir şekilde ifade edilebilmesi için, katıların gösteriminde teknik resim kurallarına uyulmamıştır.

2B Üç görünüş	Dış Eleman ve alanlar	Dış katılar
		
		
		

Şekil 1. Örnek nesnelere ait dış hat ve katılar

2B Üç görünüş	İç Elemanlar	İç Alanlar	İç Katılar
			
			
			

Şekil 2. Örnek nesnelere ait iç hat ve katılar

GELİŞTİRİLEN PROGRAM

Araştırma kapsamında 2B izdüşümlerden otomatik 3B katı modeller elde etmeye yönelik bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program, VisualLISP programlama dil kodunda yazılmıştır. Hazırlanan program ile, AutoCAD 2000 ortamında üç görünüş olarak yapılan 2B izdüşümler yorumlanarak katı modelleri oluşturulmaktadır. Program içinde AutoCAD komutları otomatik bir şekilde kullanılmaktadır. 2B verilerin elde edilmesinde DXF veri formatından faydalanılmaktadır.

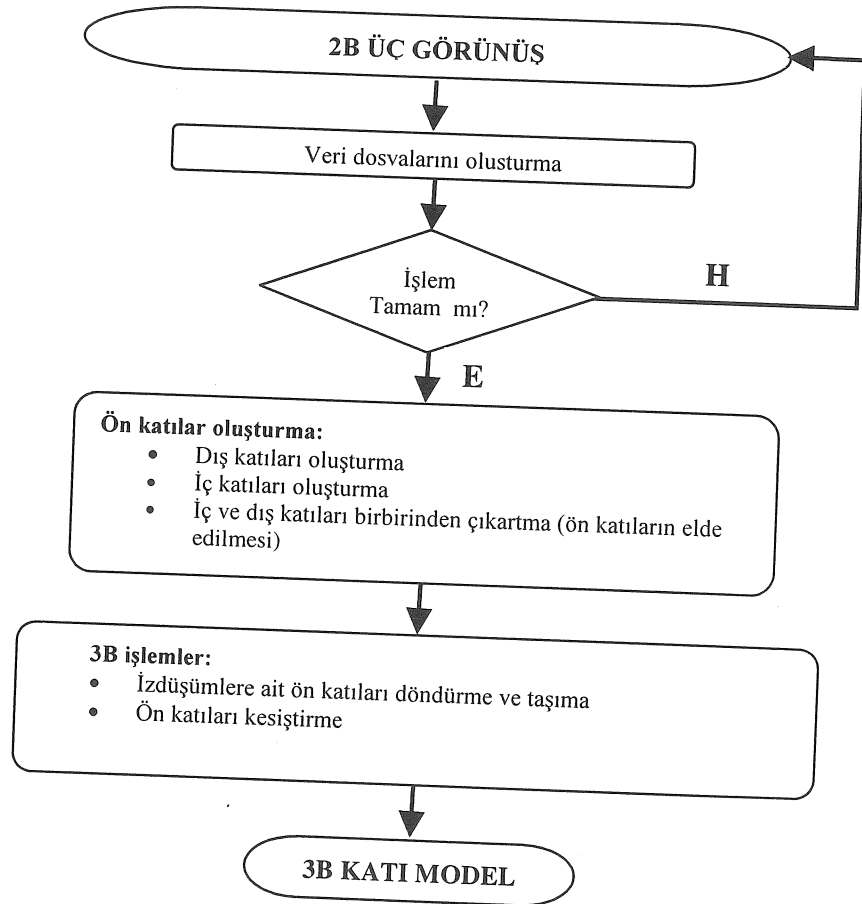
Hazırlanan program ile, DXF verileri 3B katı model işleminde kullanılmak üzere metin dosyalarına aktarılmakta ve yorumlanmaları ile işlem gerçekleştirilmektedir. Programın işlem ana basamakları şu şekilde özetlenebilir: 2B veri dosyalarının hazırlanması, görünüşlerde dış ve iç

katıların oluşturulması, dış ve iç katıların Boolean operasyonları (genelde çıkartma) ile birleştirilmesi ve 3B'lu işlemler (Şekil 3).

Veri Dosyaları Oluşturma

2B veri dosyaları, katı model elde etmede kullanılacak 2B girdilerin geometrik ve topolojik verilerini saklamak amacı ile oluşturulmaktadır.

Veri dosyalarında saklanan bu veriler düzenlenerek, katı model oluşturma aşamalarında kullanılmaktadır. Veri dosyaları oluşturulmadan önce katı modeli oluşturulacak izdüşümler 2B'lu olarak AutoCAD 2000 ortamında girilmektedir. 2B izdüşümler TS 88 Teknik Resim çizim kurallarına uygun ve üç görünüş olarak oluşturulmalıdır. Teknik resim çizim kurallarına uygun girdi, katı model oluşturma işleminin doğru bir şekilde gerçekleşmesini sağlayacaktır.



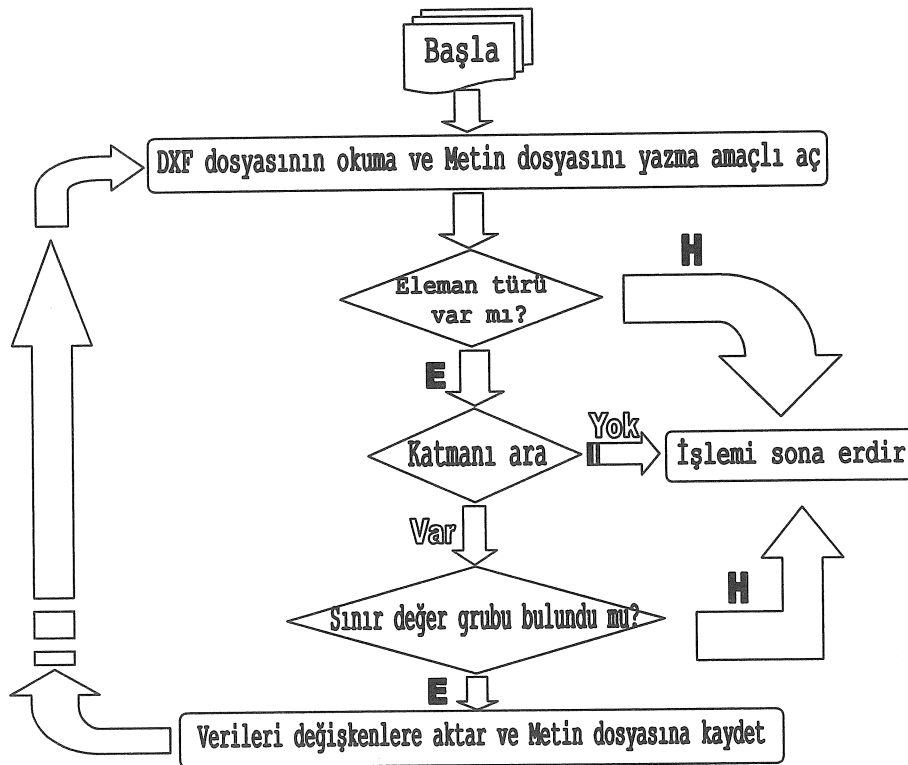
Şekil 3. Program işlem adımları

İzdüşüm girdileri hazırlandıktan sonra veri dosyaları oluşturulur. Burada iki tür veri dosyası elde edilmektedir. Bunlar, AutoCAD ortamında yapılan çizimlere ait her türlü çizim verisinin saklandığı DXF (Drawing Exchange Format) ve bu verilerin düzenlenerek aktarıldığı metin dosyalarıdır. Veri dosyalarının oluşturulması işleminden önce her bir görünüşe ait izdüşümler ayrı katmanlara atılır. Bu işlem, DXF verilerinin belirli bir düzende aktarılabilmesi ve izdüşüm verilerinin birbirine karışmaması için yapılır. Daha sonra, ekrandaki çizime ait DXF dosyası oluşturulur. DXF dosyaları AutoCAD ortamında yapılan çizimlerin DXF formatında kaydedilmesini içerir.

Bütün bu katman ve DXF dosyası oluşturma işlemleri program tarafından ve otomatik bir şekilde yapılır. İzdüşümlerin seçimi, kullanıcı tarafından her bir görünüşün sıra ile çerçeve içine alınması ile yapılır. Seçim noktalarını tanımlayan koordinat değerleri değişkenlere aktarılarak programın sonraki aşamalarında kullanılabilir hale getirilmektedir. Çizimlere ait DXF verilerin aktarıldığı dosyalar metin dosyalarıdır. Bu amaçla her bir görünüşteki (ön, yan ve üst) 2B temel elemanlar için metin dosyaları

oluşturulur. Metin dosyalarına temel elemanlara ait geometrik bilgiler aktarılır. Bu işlem Şekil 4'de gösterilen veri aktarım yöntemine göre yapılır.

Bu yöntemde göre, DXF dosyaları okuma amaçlı açılırken, eş zamanlı olarak, metin dosyaları yazma amaçlı açılır. Daha sonra her bir eleman DXF içinde analiz edilerek metin dosyalarına gerekli veriler aktarılır. Metin dosyalarına 2B temel elemanların koordinat (başlangıç ve bitiş, merkez vb.), yarıçap ve yay başlangıç ve bitiş açıları gibi geometrik değerler aktarılır. Veri aktarımının gerçekleşmesi için tanımlanan eleman türü, katman ve sınır değer gruplarının program tarafından bulunması gerekmektedir. Eğer bu gruplar bulunursa değerler aktarılır. Veri aktarımı ile, temel elemanlara ait değerler metin dosyalarına çizim sıralarına göre aktarılır. Bu işlem her bir görünüşte ve her bir temel eleman için belirli bir sıra dahilinde ve otomatik yapılır. Veri aktarım işleminin bu aşamasında görünmeyen çizgiler ve eksen çizgileri metin dosyalarına aktarılmaz. Çünkü veri aktarım işleminin bu aşamasında amaç, dış katırları oluşturmada kullanılacak verileri düzenlemektir.



Şekil 4. Veri aktarımı

Ön Katılar Oluşturma

Dış Katı Yapılandırma Elemanları Elde Etme:

Dış katılar, dış alanlardan oluşturulur. Bu nedenle ilk olarak dış elemanlardan dış alanlar oluşturulur. Dış alanlar, izdüşümün dış hattını oluşturan 2B temel elemanların birleşik çizgi (Polyline) haline getirilmesi ile oluşturulur. Dış alan oluşturma işleminde kullanılacak 2B temel elemanlara ait veriler, bir önceki adımda oluşturulan metin dosyalarından elde edilir. İşlem, AutoCAD birleşik çizgi elde etme komutu olan "pedit" komutunun program içinde otomatik kullanılması ile yapılır. Bu işlemde gerekli olan pedit noktası, dış elemanlardan herhangi birinin başlangıç veya bitiş noktasıdır. Dış alan olarak tanımlanacak elemanların seçimi ise programın başında izdüşümlerin seçiminde kullanılan seçim noktaları yardımı ile yapılmaktadır.

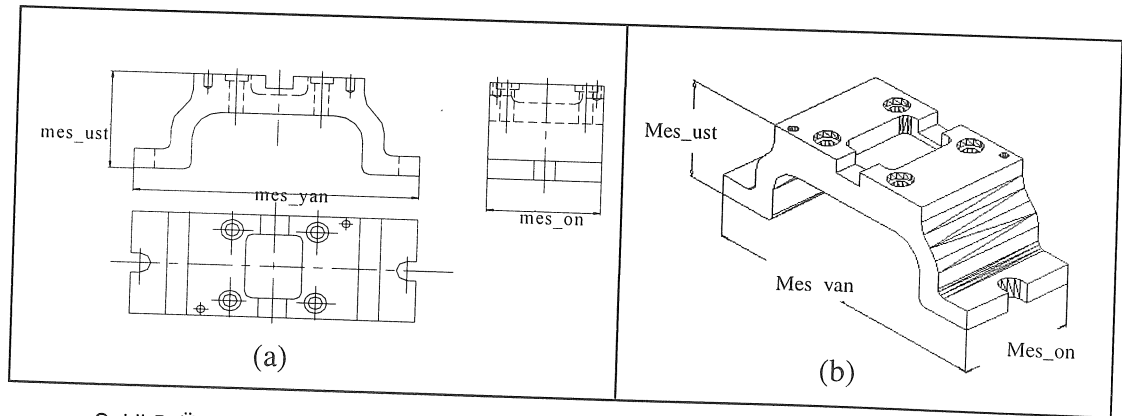
Dış katı elde etme işlemi dış alan elde etme işlemi takip edecek şekilde yapılır. Dış katılar, dış alanlara belirli bir kalınlık verilmesi ile oluşturulur. Burada doğrusal bir sündürme söz konusudur. Sündürme işlemi için gerekli veriler, sündürme miktarı (kalınlık) ve sündürme yönüdür. Dış katı yapılandırma elemanların sündürme uzunluğu görünüşler arası ilişkiler yardımı ile belirlenir. Örneğin Şekil 5.(a)'da dik izdüşümleri verilen nesnenin ön görünüşüne ait sündürme miktarı, yan görünüşte mes_on olarak gösterilen mesafe kadar olur. Benzer şekilde sol yan görünüşe ait sündürme miktarı Şekil 5.(a)'da mes_yan ve üst görünüş sündürme miktarı mes_ust olarak belirtilen mesafeler kadar olmalıdır.

Sünderme miktarları, görünüş seçiminde kullanılan köşe noktaları kullanılarak program tarafından otomatik hesaplanır. Başlangıçta bu mesafeler, nesne boyutlarından büyük olabilir. Ancak son aşamada sünderülen katılara ait hacimsel kesişim yapılması ile, 3B'lu gerçek nesne elde edilecektir. Sünderme yönleri ise, her görünüşe ait

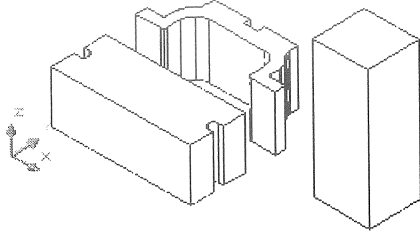
negatif normal vektör doğrultusunda (- "Z" eksen yönü), alınır. Böylece her görünüşteki dış alanlar, sünderme mesafe ve yön değerlerine göre uzatılarak katı hale dönüştürülür. Şekil 6'da işlem sonucu elde edilen görünüşlerdeki dış katılar görülmektedir.

İç Katı Yapılandırma Elemanları Elde Etme: Bu aşamada Bölüm 2'de ayrıntılı olarak tanıtılan iç elemanlar ele alınarak, bunlardan iç alan ve iç katı yapılandırma elemanları elde edilir. İç katı yapılandırma elemanı elde etme işlemi şu adımları içerir: iç elemanlara ait veri ve veri dosyalarının elde edilmesi, iç alan ve iç katı temel elemanların elde edilmesi

Bu işlemlerden önce, dış katı temel elemanlar oluşturulan yeni katmanlara konur. Dış ve iç katılara ait katmanlar birbirinden ayrılarak işlemlerde kolaylık sağlanır. İç elemanlarla ilgili işlemlere geçmeden önce dış katılara ait bu katmanlar kapatılır ve ekranda sadece iç elemanlar kalır. Daha sonra iç elemanlara ait veriler incelenip bunlara ait veri dosyaları oluşturulur. Veri dosyası oluşturma işlemi, dış elemanlara ait veri dosyalarına benzer şekilde yapılmaktadır. Bu amaçla önce iç elemanlara ait yeni bir DXF dosyası oluşturulur ve bu dosyadaki veriler yorumlanarak iç elemanlar için oluşturulan metin dosyalarına aktarılır. DXF dosyasının açılması ve buradaki verilerin düzenlenip aktarılması Şekil 4.'de görülen akış şemasına uygun bir şekilde olur. Burada dış elemanlardan farklı olarak, görünmeyen çizgiler de işleme sokulmaktadır. Bu amaçla her görünüşteki görünmez çizgilerin aktarıldığı ayrı birer metin dosyası oluşturulur. Böylece, görünür ve görünmeyen çizgiler birbirinden ayrılır. İç katı yapılandırma elemanları iki ana başlık altında incelenmektedir: prizmatik ve karmaşık iç katılar, silindirik iç katılar. Bu iki tür katı temel elemanların elde edilme yöntemi farklı olduğu için ayrı ayrı ele alınmaktadır.



Şekil 5. Üç temel görünüşe ait sünderme uzunlukları: (a) izdüşümlerde (b) 3B uzayda



Şekil 6. Dış katılar

a) Prizmatik ve karmaşık iç katı yapılandırma elemanlarının elde edilmesi: Prizmatik ve karmaşık iç katılar, düzlemsel ve karmaşık (kama kanallı deliklerin 2B izdüşümleri vb.) iç alanlardan elde edilir. İşlem, dış katıların elde edilmesine benzer bir tarzda iki aşamada gerçekleşir: iç elemanlardan iç alanların elde edilmesi ve iç alanların doğrusal bir biçimde sündürülerek iç katıların elde edilmesi. Şekil 7'deki işlem algoritmasında görüldüğü gibi, işlemin gerçekleşmesi için ilgili görünüşte an az bir çizgi parçasının bulunması gerekir. Böylece gereksiz araştırmalardan kaçınılır ve işlem zamanı azalır.

İç alan oluşturma işlemi dış alan oluşturma işlemine benzer şekilde yapılmaktadır. İşlem için gerekli seçim noktaları iç elemanların aktarıldığı metin dosyalarından alınır ve değişkenlere depolanır. İç alan oluşturma işleminin tamamlanabilmesi için iç elemanların hepsinin seçim işlemi, dış alanlarda kullanılan seçim noktaları kullanılarak gerçekleştirilir.

```

[[ iç elemanlara ait çizgi.txt dosyasını okuma modunda
ac
  Eleman sayısını belirle
  {While döngü değişkeni /= "dosya sonu" dizgisi (devam
  et)

  [If eleman sayısı >1 then dış alan elde etme işlemini
  başlat]
    Sınır nokta koordinatlarını değişkenlere aktar
    İç alan elde etme işlemini yap
    };While sonu
  ]] txt dosyasını kapat

```

Şekil 7. İç alan elde etme algoritması

İkinci aşama iç alanların sündürülerek prizmatik iç katının elde edilmesidir. Bu işlem daha önce yapılan sündürme işlemlerine benzer şekilde yapılır. Görünüşler arası ilişkiler yorumlanarak sündürme mesafeleri hesaplanır. Bu işlem, görünüşlerde oluşturulan düzlemsel iç alanların komşu görünüşlerdeki görünmez çizgiler ile ilişkileri yorumlanarak yapılmaktadır. Yorumlama, iç alanın başlangıç veya bitiş noktalarından herhangi birinin

komşu görünüşteki görünmez çizgi koordinatı ile aynı olması kuralına dayandırılmaktadır. Üç görünüş için oluşturulan kurallar şu şekildedir:

- 1) Ön görünüşteki düzlemsel iç alanı oluşturan çizgi parçalarından herhangi birinin "x" koordinatı ile üst görünüşteki görünmez çizgilerden "x" koordinatı aynı olan ve "y" koordinatı ile yan görünüşteki görünmez çizgilerden "y" koordinatı aynı olan çizgi, ön görünüşteki düzlemsel alanın üst ve yan görünüşteki izdüşümleridir.
- 2) Yan görünüşte bulunan düzlemsel iç alanı oluşturan çizgi parçalarından herhangi birinin "y" koordinatı ile ön görünüşteki görünmez çizgilerden "y" koordinatı aynı olan çizgi parçası, yan görünüşteki düzlemsel iç alanın ön görünüşteki izdüşümlerinden birisidir.
- 3) Üst görünüşte bulunan düzlemsel iç alanı oluşturan çizgi parçalarından herhangi birinin "x" koordinatı ile ön görünüşteki görünmez çizgilerden "x" koordinatı aynı olan çizgi parçası, üst görünüşteki düzlemsel iç alanın ön görünüşteki izdüşümlerinden birisidir.

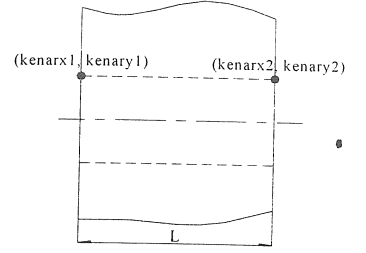
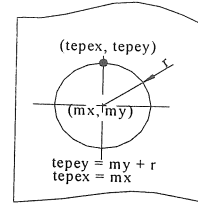
Bu kriterlere uyan çizgi parçalarının uzunluğu hesaplanarak düzlemsel iç alanın sündürme miktarı bulunmaktadır. Sündürme yönü dış katılarda olduğu gibi negatif normal vektör doğrultusunda (- "Z" eksen yönü) alınır.

Prizmatik iç katılar elde edildikten sonra bu katılar dış katılardan çıkartılır. Bu işlemin yapılabilmesi için daha önce kapatılan dış katılara ait katmanlar aktif hale getirilir. Çıkartma işlemi için her iki katı üzerinde seçim noktaları gerekmektedir. Burada dış ve iç alan oluşturulurken kullanılan seçim noktaları kullanılarak işlem tekrarı önlenir. Daha sonra bu seçim noktaları kullanılarak çıkartma işlemi yapılır. Çıkartma işlemi AutoCAD "Subtract" komutunun program içinde otomatik olarak çalıştırılması ile yapılır.

b) Silindirik iç katı yapılandırma elemanlarının elde edilmesi: Bu aşamada, 2B izdüşümlerde dış hat içinde kalan daireler işleme alınır. Burada, 3B katıda bulunan silindirik delikleri oluşturmada kullanılacak olan silindirik (iç) katılar elde edilir. Burada ilk olarak, görünüşlerdeki dairelerle ilgili verilerin aktarıldığı metin dosyaları ile, görünmeyen çizgilerin aktarıldığı metin dosyaları karşılaştırılır. Bu işlem için ilk önce daire verilerinin aktarıldığı metin dosyaları okutularak ilgili veriler değişkenlere aktarılır. Bu veriler, daire merkez noktası ve yarıçapıdır. Karşılaştırmanın yapılabilmesi için daire tepe nokta koordinatlarına ihtiyaç vardır. Çünkü dairenin komşu görünüşlerdeki izdüşümleri tepe

noktalarının uzantılarından oluşur. Tepe nokta koordinatlarının elde edilmesi için daire yarıçapı, dairenin merkez koordinatına eklenir. Tepe nokta koordinatlarının elde edilmesinde, yarıçap miktarı eklenecek merkez koordinatları (x veya y) görünüşe göre değişir. Bu amaçla, ön görünüşte "y", yan görünüşte "y" ve üst görünüşte "x" koordinatlarına yarıçap eklenerek tepe nokta koordinatları elde edilir. Daha sonra bu tepe noktalarının ilgili görünüşlerdeki izdüşümleri bulunarak sündürme miktarları hesaplanır. Sündürme miktarları bu izdüşümlerin uzunluğudur.

Şekil 8'deki örnekte ön görünüşteki silindirik deliğin yan görünüşteki izdüşümü ile ilişkisi gösterilmektedir. Buna göre, merkez nokta koordinatları (mx, my) ve yarıçapı "r" olarak tanımlanan dairenin tepe noktası (tepex, tepey), "my" olarak tanımlanan merkez "y" koordinatına "r" yarıçapının eklenmesi ile hesaplanır. Yan görünüşte (kenarx1, kenary1) ve (kenarx2, kenary2) koordinatları ile ifade edilen çizgi parçası ile tepe noktası arasında $tepey = kenary1$ ve $tepey = kenary2$ eşitliği sağlanıyorsa, yan görünüşteki çizgi parçası bu dairenin izdüşümü olarak kabul edilir. Bu eşitliği sağlayan çizgi parçasını oluşturan iki nokta arasındaki mesafe hesaplanarak sündürme miktarı (L) hesaplanmaktadır (Şekil 8).



Şekil 8. Örnek iki görünüşte (ön-yan) daire-görünmez kenar ilişkisi

Şekil 9'da verilen işlem algoritmasında da görüldüğü gibi, silindirik iç katı elde etme işlemi, belirli bir sıra dahilinde yapılır.

Çizim sırasına göre önce ilk daire, daha sonra benzer şekilde görünüşlerdeki bütün daireler yorumlanarak sündürme miktarları hesaplanır. Daha sonra aynı algoritma içinde bu mesafeler kullanılarak silindirik iç katılar elde edilir. Bu yöntemle boydan boya ve kör delikler kolay bir şekilde elde edilmektedir.

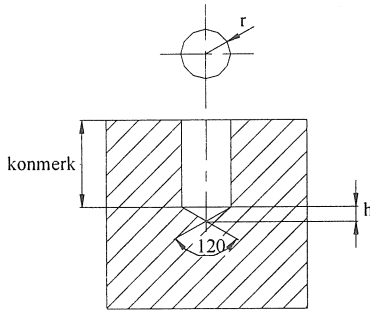
```

[[ daire.txt dosyasını okuma amaçlı aç
  • Eleman sayısını bir değişkene aktar
  • Döngü değişkeni ata
  {while döngü değişkeni /= "DOSYA SONU" (devam et)
    [if elemansayısı >= 1 then
      • İlk daireye ait sınır değerlerini değişkenlere ata
      • daire tepe noktasını hesapla ve değişkene ata (tepex, tepey)
    ]; if sonu
  [[komşu görünüşe ait kesik kenar.txt dosyasını okuma amaçlı aç
    • Döngü değişkeni belirle
    {while döngü değişkeni /= "DOSYA SONU" (devam et)
      [[if döngü değişkeni /= "DOSYA SONU" (devam et)
        • Sınır değerlerini değişkenlere ata
        • İlk kenar listesini oluştur [ (kenarx1, kenary1) ve (kenarx2, kenary2)]
        [if tepey=kenary1 ve tepey=kenary2 (ön-yan ve yan-ön için) then
          (üst-ön için; tepex=kenarx1 ve tepex=kenarx2)
          • Sündürme mesafesini hesapla (kenar listesindeki değerleri kullanarak)
          • Matkap ağız çizimi için koni sınır değerlerini ve koni tepe nokta koordinatlarını belirle
          • Silindirik iç katıyı elde et (daireyi sündürerek)
            • Dış katı seçim noktalarını al
            • Dış katı ile silindirik iç katı arasında çıkartma işlemini yap
          ];if sonu
        ];if sonu
      } while sonu (kesik kenar)
    kesikkenar.txt dosyasını kapat ]
    [if elemansayısı (daire)>1 then daire için döngü değişkenini üç artır ve işleme devam et
    ];if sonu
  ] while sonu (daire)
  daire.txt dosyasını kapat]]

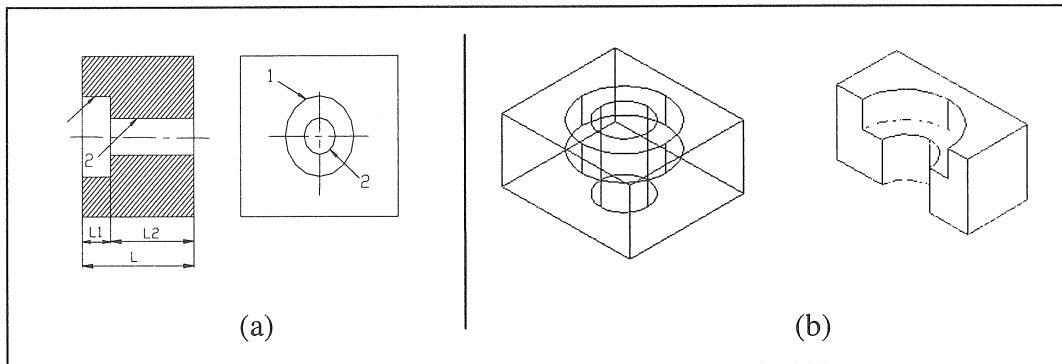
```

Şekil 9. Silindirik iç katı elde etme algoritması

c) **Matkap ağızlarının oluşturulması:** Silindirik deliklerin oluşturulması sonrası, kör deliklere ait matkap ağızlarının oluşturulması gerekebilir. Matkap ağızları silindirik katı elde etme algoritması içinde, silindirik katıların elde edilmesinin ardından oluşturulmaktadır. Matkap ağızları AutoCAD YKG elemanlarından koniler kullanılarak oluşturulur. Oluşturulacak koni için gerekli olan veriler, koni merkezi, yüksekliği ve yarıçapıdır. Bu değerler, ilgili silindirik elemandan elde edilir. Şekil 10'da görüldüğü gibi kör deliklere ait matkap ağızları teknik resimde genelde 120° olarak gösterilmektedir. Program içinde matkap ağızını oluşturacak koninin yüksekliğini (koniyük) hesaplamak için, dik üçgen bağıntısı kullanılır. Buna göre, koni yüksekliği daire yarıçapının (r), uç açısının tanjant değerine bölünmesi ile elde edilir. $Koniyük = r / \tan 60$ bağıntısı ile koni yüksekliği hesaplanmaktadır. Koninin merkezi ise, daire merkezi ile aynıdır. Fakat koni 3B silindirik elemanın ucuna çizileceği için "z" koordinatına ihtiyaç vardır. Bunun için, sündürme miktarı koni merkezi için oluşturulan koordinat listesine doğrudan "z" koordinatı olarak atanır. Koni yarıçapı ise, daire yarıçapı ile aynıdır. Daireyle ilgili veriler, daire sündürme işleminde aktarıldığı için bu verilere ulaşmak kolaydır. Daha sonra, AutoCAD 3B temel eleman komutlarından "cone" komutu bu verilerle otomatik çalıştırılarak koni elde edilir.



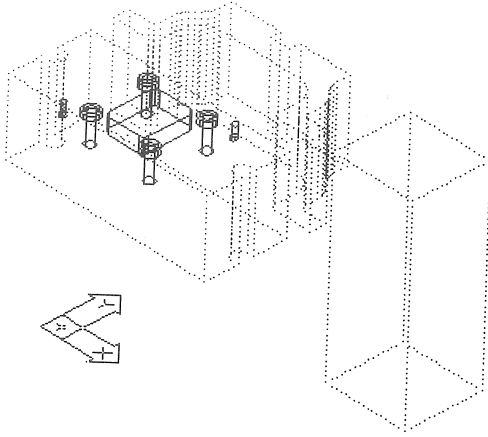
Şekil 10. Bir kör delik ve matkap ağızı



Şekil 11. (a) Kademeli delik sündürme miktarları (b) Sündürme sonrası ve deliklerin birbirinden çıkartılmış hali (3B ve kesit düzleminde)

d) **Kademeli deliklerin oluşturulması:** Bir kademeli delik, aynı merkez koordinatlarına sahip iki daire arasındaki ilişki ile belirlenir. Bu amaçla, aynı merkez koordinatlarına (x ve y) sahip daireler araştırılır. Bu tür bir durum varsa, bu daireler arasında önce dış daire, sonra iç dairenin sündürme miktarı, normal delik elde etme işleminde olduğu gibi hesaplanır. Fakat burada AutoCAD ortamında yapılan bütün girdilerin aynı yüzeyde yapıldığı unutulmamalıdır. Yani iç ve dış deliğin 2B izdüşümleri AutoCAD'de aynı yüzeydedir. Bu durumda, sündürme mesafeleri görünüşler arasında koordinatsal eşitlik şartına bağlandığı için, içteki deliğin gerçek uzunluğundan daha küçük hesaplanmasına sebep olacaktır. Bu durum Şekil 11'de açık bir şekilde gösterilmektedir. Şekil 11'deki kademeli delikte dıştaki (1 numaralı) dairenin sündürme miktarı $L1$, içteki (2 numaralı) dairenin sündürme miktarı $L2$ 'dir. Her iki delik aynı yüzeyden itibaren sündürüleceği için içteki deliğin sündürme miktarının L kadar olması gerekmektedir. Bu amaçla kademeli delikte iç deliğin sündürme miktarı şekilde $L1$ ve $L2$ olarak verilen, dış ve iç deliğin sündürme miktarlarının toplamı kadar olmalıdır (L). Bu durum, kademeli deliğin Şekil 11. (b)'deki 3B bakış doğrultusuna göre verilen görünüşlerinde daha açık görülmektedir.

Şekil 12'de bütün bu işlemler sonunda elde edilen örnek iç katılar görülmektedir.



Şekil 12. İç katılar

Silindirik İç Katıların Dış Katılardan Çıkarılması: Silindirik iç katı elde etme işlemi sırasında, bütün bu silindirik (ve konik) iç katılar dış katıdan çıkarılır. Bu işlem, Şekil 9'daki işlem algoritmasında da görüldüğü gibi her iç katının oluşturulması ve bunların dış katıdan çıkarılmasını içerir. Çıkartma işleminde gerekli olan veriler aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- Dış katı üzerinde bir seçim noktası
- İç katılardan silindirik deliklerin tepe noktaları
- Matkap ağızlarının oluşturulmasında kullanılan konilerin tepe noktaları

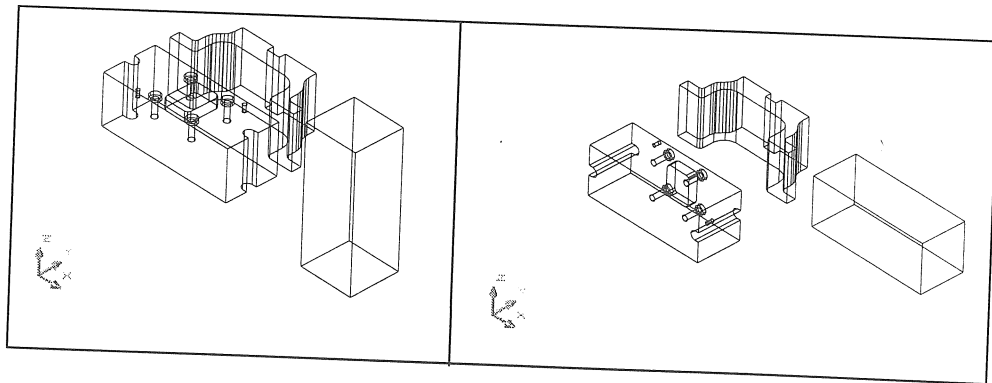
Dış ve iç katı arasında yapılacak çıkartma işlemleri için gerekli bu veriler, program tarafından ilgili metin dosyalarından çekilip değişkenlerde saklandığı için bu noktaların tekrar elde edilmesine gerek yoktur. Bu veriler tekrar kullanılarak işlemler gerçekleştirilir. Silindirik elemanların seçimi işleminde kullanılacak olan tepe noktaları ise, silindirik elemanın sündürme miktarlarının

belirlenmesi sırasında elde edilmiştir (Şekil 8). İşlem tekrarını önlemek için silindirik çıkartma işlemi silindirik iç katı elde etme işleminin ardından yapılır. Önce dış katı herhangi bir noktadan seçilir, sonra silindirik eleman seçilerek işlem tamamlanır. Program içinde daire verilerinin döngüsel tarzda okunması ve delik sayısı kadar işlemin uygulanması ile bütün silindirik çıkartma işlemleri yapılır.

3B İşlemler

Bu aşamada katı temel elemanlar arasında 3B operasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu işlemler ön, yan ve üst görünüşte oluşturulan temel elemanların döndürülmesi ve bütün temel elemanların ön görünüşteki katı üzerinde birleştirilmesidir.

Döndürme: AutoCAD ortamında yapılan 2B çizimler x-y bakış doğrultusuna göre oluşturulmaktadır. Bu durum, grafik ekranındaki tüm 2B çizimler için gereklidir. 2B izdüşümlerden oluşturulan katılar, izdüşümlerin 2B konumlarına göre oluşturulmaktadır. Ancak katıların tanımlandığı profiller 3B uzayda olması gereken ve dolayısı ile nesne oluşturmada kullanılacakları konumda değildirler. Böylece daha sonraki taşıma ve kesiştirme işlemlerinin doğru yapılabilmesi için katıların gerçek (3B uzaydaki) bakış doğrultularına göre döndürülmesi gerekmektedir. Bu bakış doğrultuları, ön görünüş için x-z, yan görünüş için y-z ve üst görünüş için x-y şeklindedir. Bu nedenle, yan görünüme ait katı, "y" eksenini etrafında e saat akrebi yönünde 90 derece; üst görünüşteki katı ise, "x" eksenini etrafında ve saat akrebi yönünde 90 derece döndürülmelidir. Çalışmada, bütün görünüşler ön görünüş üzerinde birleştirildiği için, üst görünüş gerçek konumunda olmasına rağmen döndürülmektedir. Kesiştirme işlemi sonrası ön görünüşün, saat akrebinin tersi yönünde 90 derece döndürülmesi ile, üst görünüş tekrar ilk konumuna getirilmektedir. Şekil 13'te döndürülen katıların döndürme öncesi ve sonrası görüntüleri görülmektedir.

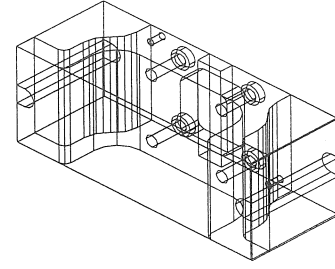


Şekil 13. Görünümlere ait katılar: (a) normal halde, (b) döndürme sonrası

Katı Temel Elemanların Taşınması: Katı temel elemanlar bu aşamada ön görünüş üzerine taşınmaktadır. Bu işlem, yan ve üst görünüşlerdeki katı temel elemanların ön görünüşteki katı temel eleman üzerine taşınması ile yapılır. Taşıma için gerekli olan veriler; taşıma noktaları ve katıların taşınacağı noktadır. Bu veriler, görünüşlerdeki katıların kütsel özellikleri incelenerek bulunur. Bu amaçla görünüşlerde oluşturulan üç katının kütsel özellikleri elde edilerek metin dosyalarına aktarılır. Katıların kütle özellikleri AutoCAD "Massprop" komutunun program içinde kullanılması ile elde edilir. Bu dosyaların oluşturulması ve okutulması metin dosyalarının okutulması ile benzer şekildedir. Bu dosyalarda her bir katıya ait, alan, hacim, ağırlık merkezi, atalet momenti vb. kütsel özelliklerin yanı sıra katının sınır nokta koordinatları da bulunmaktadır.

Katıların taşınması işleminde bu sınır değerlerinden yararlanılmaktadır. Bu değerler, en küçük ve en büyük x, y ve z noktalarıdır. Daha sonra bu değişkenlerden, her bir katının en küçük ve en büyük noktalarının bulunduğu koordinat listeleri oluşturulur. Taşınacak katıların seçim işlemi bu koordinat listeleri yardımı ile yapılır.

Taşıma işleminde, ön yüzeyler referans alınır (x-y bakış doğrultusuna göre). Burada, bütün katıların ön yüzeyleri birleştirme yüzeyleri olarak belirlenerek ön görünüş ön yüzeyine taşıma işlemi yapılır. Yani yan ve üst görünüş katıları (ön yüzeylerinde belirlenen taşıma noktalarından), ön görünüş katısının ön yüzeyinde belirlenen taşıma noktasına taşınır. Ön yüzeylerden geçen taşıma noktalarının belirlenmesi için katı sınır değerlerinden oluşturulan koordinat noktaları düzenlenerek yeni koordinat listeleri oluşturulur. Şekil 14'te görüldüğü gibi taşıma noktaları her bir katının en küçük "x", en büyük "y" ve en büyük "z" noktalarından oluşur. Yan ve üst görünüşte oluşturulan katılar en küçük x, en büyük y ve z noktasından tutularak ön görünüş katısının en küçük x, en büyük y ve en büyük z noktasından oluşan referans noktasına taşınır.

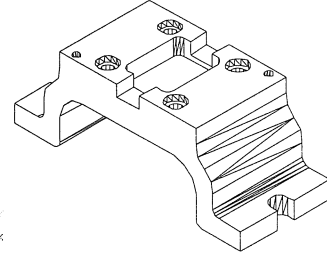


Şekil 14. Ön görünüş üzerine taşınmış katılar

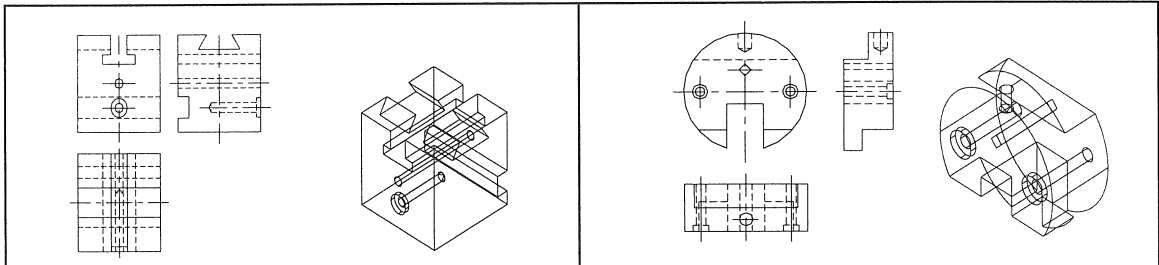
Hacimsel Kesiştirme ve Katı Model

Bu aşamada ön görünüşte birleştirilen temel elemanlar kesiştirme işlemine tabi tutulur. Kesiştirme işlemi AutoCAD "intersect" komutunun program içinde çalıştırılması ile gerçekleştirilir. Intersect komutu, iki veya daha fazla mevcut bölgenin üst üste binen alanını ve iki veya daha fazla mevcut katının ortak hacmini hesaplar ve bulunduğu alan ya da ortak hacmi tek bir nesne olarak oluşturarak orijinal nesnelere siler.

En son işlem, kesiştirme sonucu elde edilen katı üzerinde düzenlemeler yapılarak son nesnenin elde edilmesidir. Bu aşamada, elde edilen katı model "x" eksenini etrafında döndürme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlem, 3B nesnenin döndürme kısmında anlatılanlar çerçevesinde gerçek bakış doğrultusuna getirilmesi için yapılmaktadır. Nesne burada x eksenini etrafında saat akrebinin tersi yönünde 90 derecelik bir döndürme işlemine tabi tutulmaktadır. Son olarak, ekran üzerinde kalması olası 2B temel elemanlar silinir. Bütün bu işlemler sonunda 3B katı model elde edilmiş olur. Şekil 15, işlem sonunda elde edilen örnek nesneyi göstermektedir.



Şekil 15. 3B katı model



Şekil 16. Örnek çıktılar

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada üç temel görünüşü verilen bir nesnenin 3B hacim modelini oluşturma amacı ile yapılan bir araştırma tanıtılmıştır. İşlem; üç görünüş veri dosyalarının oluşturulması (2B), katı yapılandırma elemanların belirlenmesi, 3B katı işlemlerin yapılması ve hacimsel kesiştirme ile de nesnenin yeniden yapılandırma ve gösterimini içermektedir. Bu işlemlerin tam otomatik yapılmasını sağlamak için VisualLISP kodunda ve AutoCAD 2000 ortamında çalışan bir program hazırlanmıştır. Bu programla oluşturulan 3B nesne temsilinde, YKG (Yapısal Katı Geometri) veya hacim yaklaşımı kullanılmıştır.

Hazırlanan program ile, üç görünüşte açık bir şekilde ifade edilen nesnelere 3B olarak modellenmektedir. Geliştirilen yaklaşım ile, görünmeyen kenarlar işleme dahil edilmektedir. Görünmeyen kenarların işleme sokulması ile kademeli ve kör delikler gibi unsurların oluşturulması kolaylaştırılmaktadır. Çalışmada karşılaşılan en büyük güçlük ise, üst üste gelen kenar ve deliklerin yorumlanmasıdır. Bu gibi durumlarda bazı belirsizlikler ortaya çıkabilmektedir.

Çalışmada girdi görünüşleri AutoCAD altında gerçekleştirilmektedir. Daha önce AutoCAD altında yapılan benzer çalışmalar olsa da burada kullanılan metodun üstünlüğü sadece üç görünüş girdisi ile işlemi gerçekleştirmesidir. Daha önce aynı yöntemi kullanan benzer çalışmalar altı görünüşü içermektedir [26].

Bu çalışmada izdüşüm verileri, DXF formatında elde edilmekte ve yeniden yapılandırma işleminde kullanılmaktadır. Tam otomatik yapılabilen bu işlem, kullanıcı katkısı gerektirmemektedir. Ayrıca veri (metin) dosyaları kullanılarak verilerin saklanması ve işlenmiş bilgilerin elde edilmesi de mümkündür.

Çalışmada, nesneyi oluşturan elemanlar; dış ve iç elemanlar olarak ayrılmaktadır. Bu yöntemle, verilerin yorumlanması ve işlemin gerçekleştirilmesi kolaylaşmaktadır. Bu yöntem, düzlemsel ve silindirik deliklerin oluşturulmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

Bu makale kapsamında tanıtılan çalışmanın devamı mahiyetinde bundan sonra yapılacak araştırmalarda şu konular ele alınabilir:

1. Yapısal katı geometri ve sınır temsili ile modelleme beraber kullanılarak (karma bir model) işlemdaki verimlilik artırılabilir.
2. Bazı durumlarda üç görünüş parçaların ifade edilmesinde yetersiz kalmaktadır (üst üste gelen çizgi ve delikler v.b.), bu nedenle çalışma yardımcı görünüşleri kapsayacak şekilde genişletilebilir.
3. Kaynaklarda, kesit görünüşleri ele alan yaklaşımlara rastlanmamıştır. İleriki çalışmalar bu yöne kaydırılabilir.

4. Çalışmaların daha etkin ve başarılı olabilmesi için yapay zeka tekniklerine başvurulabilir.

AUTOMATIC RECONSTRUCTION OF 3D OBJECTS IN AUTOCAD 2000 ENVIRONMENT FROM THEIR THREE BASIC VIEWS

This paper describes a new volume - oriented approach that would be used for the reconstruction of 3D models depending on their basic views or orthographic projection drawings. The approach involves: the recognition of various 2D primitives regarding contours of views and those inside of contours, application of extrusions to contours with respect to their normal vectors and then some Boolean operations (usually subtractions) by the use of inside primitives, translations and rotations of the obtained solids for bringing them in a correct orientation, and finally construction of 3D object (solid) by the application of an intersection operation. A computer program that running under AutoCAD 2000 environment has been developed by using VisualLISP facilities. This program can reconstruct quickly various cylindrical and polyhedral parts and shows them on the screen.

Keywords: Solid modelling, Reconstruction, Orthographic projection.

KAYNAKLAR

1. Sugihara, K., Machine Interpretation of Line Drawings, MIT Press., 1986.
2. Shpitalni, M., Lipson, H., Identification of Faces in a 2D Line Drawing Projection of a Wireframe Object, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 18, 10, 1000-1011, 1996.
3. Wang, W., On the automatic Reconstruction of a 3D Object's Constructive Solid Geometry Representation from its 2D Line Drawing, D.Sc Thesis, University of Massachusetts, Lowell, MA, 1992.
4. Wang, W.D., Regular curved object's CSG-Rep reconstruction from a Single 2D Line Drawing, *Proc. Of 1991 SPIE Intelligent Robots and Computer Vision X: Neural, Biological and 3D Methods*, 1608, Boston, USA, 1991.
5. Wu, M.C., Lin, M.S., Automatic construction of CSG Solids from a Single Isometric Drawing, *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 9, 1, 1-21, Jan-Feb 1996.
6. Wang, W., Grinstein, G.G., A survey of 3D Solid Reconstruction from 2D Projection line drawings, *Computer Graphics Forum*, 12 (2), 137-158, (1993).

7. Nagendra, I.V., Gujar, U.G., 3D object from 2D orthographic views.-a survey, *Computer and Graphics*, 12, 1, 111-114, 1988.
8. Idesawa, M., A System to Generate A Solid Figure From A Three View, *Bull. JSME* 16, 216-225, 1973.
9. Markowsky, G. and Wesley, M.A., Fleshing out wire frames, *IBM J. Res. Develop.*, 24, 582-587, September 1980.
10. Sakurai, H., and Grossard, D.C., Solid model input through orthographic views, *Computer Graphics*, 17, 3, 243-251, July 1983.
11. You, C.F., Yang, S.S., Reconstruction of curvilinear manifold objects from orthographic views, *Computers & Graphics*, 20, 2, 275-293, Mar-Apr 1996.
12. Shin, B.S., Shin, Y. G., Fast 3D solid model reconstruction from orthographic views, *Computer Aided Design*, 30, 1, 63-76, 1998.
13. Watanabe, T., Revision of inconsistent orthographic views, *Journal for Geometry and Graphics*, 2, 1, 45-53, 1998.
14. Tanaka, M., Iwama, K., Hosoda, A., Watanabe, T., Decomposition of a 2D Assembly Drawing into 3D Part Drawings, *Computer Aided Design*, 30, 1, 37-46, 1998.
15. Kuo, M.H., Reconstruction of quadric surface solids from three-view engineering drawings, *Computer Aided Design*, 30, 7, 517-527, 1998.
16. Dori, D., Weiss, M., A scheme for 3d object reconstruction from dimensioned orthographic views, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 9, 1, 53-64, Feb 1996.
17. Şahin, İ., Börklü, H.R., 2B İzdüşüm Görünümlerinden Otomatik 3B Sınır Temsili Modellerin oluşturulması, *G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14, 4, 1455-1465, Ekim 2001.
18. Şahin, İ., Börklü, H.R., Temel izdüşüm görünüşlerinden bilgisayar destekli 3B nesnelerin elde edilmesi, *G.Ü.T.E.F. Politeknik Dergisi*, 4, 3, 1-10, Eylül 2001.
19. Yan, Qing-wen., Chen, C. L. P., Tang, Z., Efficient Algorithm for the Reconstruction of 3D Objects from Orthographic Projections, *Computer Aided Design*, 26, 9, 699-717, 1994.
20. Aldefeld B., On automatic recognition of 3D structures from 2D representation, *Computer Aided Design*, 15, 2, 59-64, March 1983.
21. Ho, B., Inputting constructive solid geometry representations directly from 2D orthographic engineering drawings, *CAD*, 18,3, 147-155, 1986.
22. Chen, Z., Perng, D.B., Automatic reconstruction of 3D solid objects from orthographic views, *Pattern Recognition*, 21, 439-449, 1988.
23. Masuda, H., Masayuki, N., A Cell-based approach for generating solid objects from orthographic projections, *Computer Aided Design*, 29, 3, 177-187, 1997.
24. Dutta, D., Srinivas, Y.L., Reconstruction of curved from the polygonal orthographic views, *Computer Aided Design*, 24, 3, 149-159, 1992.
25. Liu, C.H., Perng, D.B., Chen, Z., Automatic form feature recognition and 3d part reconstruction from 2D data, *Computer & Industrial Engineering*, 26, 4, 689-707, Oct. 1994.
26. Shum, S.S.P., Lau, W.S., Yuen, M.M.F., YU, K.M., Solid reconstruction from orthographic opaque views using incremental extrusion, *Computer & Graphics*, 21, 6, 787-800, 1997.
27. Shum, S.S.P., Lau, W.S., Yuen, M.M.F., Yu, K.M., Solid reconstruction from orthographic views using 2-Stage extrusion, *Computer Aided Design*, 33, 91-102, 2001.
28. Liu, S., Hu, S., Wang, G., Sun, J., Reconstructing of 3d object from orthographic views, *Chinese Journal of Computers*, 23, 2, 141-146, Feb. 2000.
29. Liu, S.X, Hu, S.M, C, Y.J., Sun, J.G., Reconstruction of curved solids from engineering drawings, *Computer Aided Design*, 33, 1059-1072, 2001.
30. Suh, T.J., Kim W.S., Kim, C.H., Two phase 3D object reconstruction from two-view drawings, *IEICE Transactions On Information and Systems*, E82D, 7, 1093-1100, Jul 1999.
30. Şahin, İ., *Temel İzdüşümlerden Bilgisayar Destekli 3B Katı Modeller Oluşturma*, Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enst., Ağustos 2001.

Difüzyon Sert Lehimlemesi İle Titanyum ve Düşük Karbonlu Çelik Malzemelerin Birleştirilmesi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

Behçet GÜLEŇÇ
Y.Doç. Dr.

Teknik Eğitim Fakültesi
Metal Eğitimi Bölümü
Gazi Üniversitesi
Beşevler-Ankara

Bu çalışmada, alışımlı kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri çok zor veya imkansız olan titanyum ile düşük karbonlu çelik malzemelerin difüzyon sert lehimlemesi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Kaynak işleminde bir ara bağlayıcı (difüzyon yardımcı) kullanılmış ve birleştirme argon gaz koruması altında ve fırında gerçekleştirilmiştir. Malzemeler, 700 °C'de değişik sürelerde sabit yük altında kaynak işlemine tabi tutulmuş ve elde edilen birleştirmelerin mikroyapıları ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Birleştirmelerin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla kaynaklı numunelere kenar makaslama testi uygulanmıştır. Mekanik incelemeler sonucunda kaynak süresinin artmasıyla makaslama kuvvetinin arttığı ve de hem kaynaklı numunelerde hem de kaynak ara yüzeyinde sertliğin düştüğü tespit edilmiştir. Optik mikroskop görüntülerine göre lehimleme süresinin artmasıyla ara bağlayıcı folyo kalınlığının azaldığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Sert Lehimleme, Mikroyapı, Kenar Makaslama Testi.

GİRİŞ

Malzemelerin birleştirme teknikleri, malzemenin cinsine, birleştirmenin amacına ve kaynak usulüne göre değişmektedir. Malzemeler kaynakla iki tür yöntemle birleştirilebilirler. Bunlar ergitmeli kaynak yöntemleri ve ergitmesiz kaynak yöntemleri olarak bilinmektedir. Ergitmeli yöntemler elektrik ark, oksijen alevi ve lazer gibi yöntemlerle yapılmaktadır. Daha çok uzay ve uçak sanayinde kullanılan ve de difüzyon kaynağına da içine alan gelişmiş malzemelerin birleştirilmeleri katı hal kaynak teknikleri ile yapılmaktadır. Farklı metallerin veya farklı malzemelerin birleştirme tekniklerinin yaklaşık % 40'ını difüzyon kaynağı oluşturmaktadır. Difüzyon kaynağı ile birleştirilmiş malzemelerde yine yaklaşık % 20'sini titanyum ve alaşımları oluşturmaktadır [1].

Difüzyon kaynağı ile ilgili ilk teori 1944'te Kinzel tarafından sunulmuştur. Daha sonra Gerken ve Owezaski 1965'te üç safhalı bir mekanizma ileri sürmüşlerdir. Sonraki yıllarda Shwartz, King ve Owezaski birbirlerinininkiyle aynı olan bir model sunarak kendi modellerinin son safhaları ile Gerken ve Owezaski modelinin ilk safhasını birleştirmişlerdir. Bu modele göre ilk safhayı, birleşme yüzeylerinin basınç altında ilk temas sürünme meydana getirmektedir. İkinci safhada, birinci safhada yok edilemeyen arakesit boşlukları yok edilmekte ve arakesit tane sınırları daha düşük

bir enerji seviyesine, yani arakesit düzlemi dışına geçmektedirler. Buradaki hakim mekanizma tane sınırı difüzyonudur. Son safhayı oluşturan üçüncü safhada ise tane içindeki boşlukların hacim difüzyonu ile doldurulmasıdır [2].

Benzer olmayan metal ve alaşımlarda, kaynak sonrası birleşme bölgesinde metaller arası kırılğan bir faz oluşuyor yada yeniden ergime ile malzeme gevrekleşiyorsa veya dayanım azalıyorsa bu gibi durumlara karşı difüzyon kaynak yöntemi tercih edilmektedir [3,4,5]. Difüzyon kaynağı, ısı ve basınç uygulaması gerektirdiğinden, parçanın şekline, ölçülerine ve istenilen atmosfer tipiyle sıcaklığa bağlı olarak bir takım özel ekipmanlar gerektirir. Her malzemeye göre parça büyüklüğü, parça sayısı, kaynak sıcaklığı veya kaynak atmosferi için kullanılan cihazlar farklıdır. Kaynak; vakumda, koruyucu gaz atmosferinde veya son zamanlarda tuz banyosunda yapılmaktadır [5].

Difüzyon kaynağında en önemli kaynak parametreleri; kaynak sıcaklığı, basınç süresi, şekil değiştirme miktarı, yüzey kalitesi ve koruyucu atmosferdir. Difüzyon kaynağının uygulanmasında, özellikle farklı metal ve alaşımlarının birleştirilmesinde genellikle bir ara tabaka kullanılır. Ara tabakalar kaynak alanındaki heterojenliği minimuma indirir ve birleştirmenin oluşumunu kolaylaştırır [5,6]. Difüzyon yardımcı kullanılmayan kaynakların çoğu 4 saate kadar çıkan sürelerde yapılır. İlave metalle, süre-sıcaklık gereksinimleri ciddi ölçüde azalır. En yüksek

kaynak mukavemeti ve bağlantı kolaylığı Ag, Cu, Ag-28 Cu folyo gibi bir aracı tabaka veya difüzyon yardımcısının (ilave metal) kaynak birleştirmesinde kullanılmasıyla gerçekleştirilir [7].

Birleştirmenin, ilave metalin solidüs sıcaklığının üstünde bir noktada katılaştığı kapiler sert lehimleme süreci, difüzyon sert lehimlemesi olarak adlandırılır [5,8]. Diğer yöntemlerle yapılması zor olan birçok sert lehimleme işlemi difüzyon sert lehimlemesi ile yapılabilir. 1920'lerde başlayan ve 1930'larda ticari olarak kullanılan fırında sert lehimleme işlemi[9] basit biçimli birleştirmelerin kaynağında uygundur. Bu yöntemlerde kutu veya sürekli tip fırınlar (seri üretim için) kullanılır [10]. Fırında sert lehimleme işleminde genelde demirdışı bir dolgu metali birleştirme malzemesi olarak kullanılır. Temizlenmiş parçalar ve lehim dolgu malzemesi birbirlerine montaj edilerek fırın içine yerleştirilir ve sert lehimleme işlemine tabi tutulurlar. Kaynak esnasında fırın içerisine indirgeyici bir gaz gönderilir [9,11].

Titanyum ve alaşımları 700-860°C'in üstünde, yani alfa-titanyumun özellikle güçlü bir oksijen eriticisi olan beta-titanyuma dönüşmesi noktasının üstündeki sıcaklıklarda sertlehimlenirler. Sertlehimlenmiş parçaların yüzeyinde oksit filmi ve alfalaşmış tabaka oluşması, parçaları bir akan saf argon veya vakumda ıstamakla önlenir [7].

Bu çalışmada, alışılmış kaynak yöntemleri ile birleştirilmeleri çok zor veya imkansız olan titanyum ile düşük karbonlu çelik malzemelerin difüzyon sert lehimlemesi ile birleştirilebilirliği araştırılmıştır. Titanyum ile düşük karbonlu çelik malzemelerin difüzyon sert lehimlemesi ile birleştirildiği bu çalışmada kaynaklı numunelerin mikroyapı ve mekanik özellikleri incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

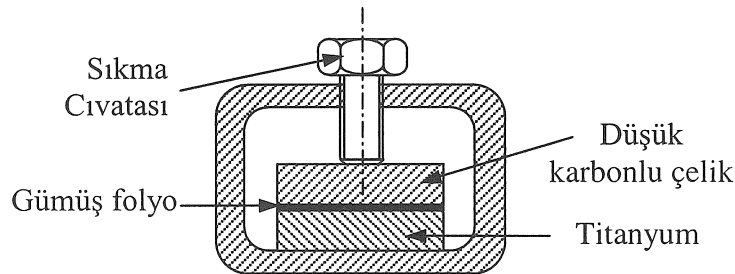
Bu çalışmada, Tablo 1'de kimyasal bileşimi verilen düşük karbonlu çelik (Ç1020) ile ASTM Grade 2 alaşımsız titanyum (% 99.2) ve ilave metal olarak da çelik, sert metal ve bakır malzeme için yüksek gümüşlü, düşük birleşme sıcaklığına sahip A1306 gümüş alaşımı (Çekme dayanımı 35-40 Kg/mm²) kullanılmıştır.

Kaynak için kullanılacak titanyum ve çelik malzemeler levha halinde olup kalınlıkları 5 mm'dir. Levha halinde olan numuneler kaynak için 15x30x5 mm ebatlarında kesildikten sonra sırasıyla 1200 grit'e kadar SiC su zımparasi ile zımparalanarak aseton ile temizlenmişlerdir. Aynı şekilde gümüş folyolar da zımparalanmış ve temizleme işlemine tabi tutulmuşlardır. Kaynak yapılacak numuneler arasına gümüş folyo konulduktan sonra Şekil 1'de şematik gösterilen mekanik bir aparat hazırlanmış ve numuneler içerisine yerleştirilerek torkmetre ile sabitleştirilmişlerdir. Kaynatılmış numunelerin hepsine uygulanan yük sabit tutulmaya çalışılmıştır. Sabit bir yük altında olan numuneler yatay seramik tüp fırın içerisine yerleştirilmiş ve argon gazı koruması altında fırın çalıştırılmıştır. Kaynak süresi biten numuneler yine argon gazı kontrolünde oda sıcaklığına kadar kontrollü olarak soğutulmuşlardır.

Numuneler ilk olarak 700°C'lik bir sıcaklıkta 120 dakika teste tabi tutulmuş ve başarılı bir birleşme elde edilmiştir. Daha sonra ideal sert lehimleme sıcaklığının tespiti amacıyla diğer numuneler 650 °C'lik bir sıcaklıkta ve 120 dakika teste tabi tutulmuş ve birleşme sağlanamamıştır.

Tablo 1. Kullanılan çelik malzemenin kimyasal bileşimi ve bazı mekanik özellikleri.

Element	C	Mn	Si	P	Fe	Mekanik Özellikleri
Düşük Karbonlu Çelik (% Ağırlık)	0.15	0.30	0.10	0.040	Kalan	Kopma Dayanımı: 42-55 kg/mm ²



Şekil 1. Deneylerde kullanılan sıkma düzeneğinin şematik gösterilimi.

Literatür araştırması sonucunda sert lehimleme işleminin olmayışının veya bozuk oluşunun nedeni olarak [12] işleme sıcaklığına henüz ulaşılmaması ve ısı kaynağının debisinin yetersiz oluşu gösterilmektedir. Ayrıca "DIN 8505'e göre çalışma sıcaklığı lehimin yüzeyi ısıttığı veya sınır yüzeyi difüzyonu ile sıvı bir faz oluşturduğu en düşük yüzey sıcaklığıdır [13]" bilgisi ışığında kaynak sıcaklığının asgari 700°C olduğu düşünülmüş ve aynı şartlarda hazırlanan diğer numuneler sıcaklıklar sabit olmak üzere (700 °C) 60, 30 ve 15 dakikalık sürelerde teste tabi tutulmuş ve bütün numunelerde birleşme gerçekleşmiştir. Kaynak için her bir numuneden üçer adet hazırlanmış olup hataların azaltılması amaçlanmıştır. Elde edilen birleştirmelere mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla hazırlanan bir kalıp ile kenar makaslama testi uygulanmış, ayrıca kaynaklı bölgenin mikroyapı ve sertlikleri incelenmiştir. Numuneler öncelikle metalografik inceleme için 10x20x10 mm kalacak şekilde talaşlı işlenmişler ve sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 gritlik su zımparası ile metalografik kurallara uyularak zımparalama işlemine tabi tutulmuşlardır. Zımparalama işlemi biten kaynaklı numunelerin dağlama problemlerinden dolayı çözeltiye daldırılmadan fotoğrafları çekilmiştir. Mikroyapı görüntüleri için PRIOR marka optik mikroskop yardımı ile x100 ve x400 büyütmelerde gerçekleştirilmiştir. Numuneler daha sonra 3 µm'lik elmas pasta ile DP mikro keçe üzerinde parlatılmışlardır. Parlatma işleminden sonra numuneler öncelikle çelik malzeme için % 2 nital çözeltisi ile dağlanmış ve o şekilde fotoğrafları görüntülenmiştir. Titanyum malzemesinin dağlanması için 10 ml HF 30 ml HNO₃ ve 50 ml su ile oluşturulan bir çözelti hazırlanmış ve kaynaklı numunelerin sadece titanyum taraflarına sürülmüştür. Ancak titanyum üzerine damlatılan

dağlayıcı çelik malzeme üzerine yayılmış ve malzemeye zarar vermiştir. Bunun için her iki malzeme aynı anda net olarak görüntülenememiştir. Fotoğrafi çekilen numunelerin sertlik ölçümleri 136⁰ ve kare tabanlı Vickers uca sahip INSTRON WOLPERT sertlik cihazı ile yapılmış ve 5 kg yük uygulanmıştır. Ölçümler her bir numuneden ve arayüzeyden (ara tabaka) eşit aralıklarla olmak üzere 3'er adet yapılmış olup ortalamaları alınmıştır.

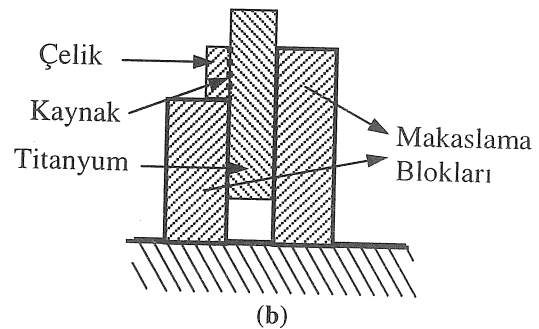
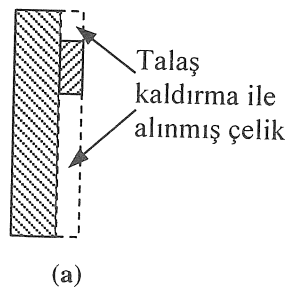
Makaslama testi için numuneler Şekil 2 a'da görüldüğü gibi hassas bir şekilde freze tezgahında işlenerek hazırlanmışlardır. Hazırlanan numunelere uygun toleranslarda Şekil 2 b'de görülen kalıp hazırlanmış ve hazırlanan test numuneleri MFL SYSTEM tipi çekme cihazında 1 mm/dk basma hızında teste tabi tutulmuşlardır.

Testler için toplam üç adet makaslama numunesi hazırlanmış ve ortalamaları değerlendirilmiştir.

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Sertlik Deneyi Sonuçları ve Tartışılması

Sert lehimleme ile birleştirilmiş numunelerden elde edilen ve Şekil 3'de gösterilen sertlik değerlerine göre, difüzyon sert lehimleme süresinin azalmasıyla gerek ana malzemelerde gerekse ara bağlayıcıdaki (difüzyon yardımcısı) sertlik değerleri bir artış göstermiştir. Ancak, sertlik ölçümleri sonucunda kaynaklı numunelerin her yerindeki sertlik değerlerinin aynı olduğu görülmüştür. Yapılan araştırmalarda da difüzyon kaynağı sonrası sertlik değerlerinde, diğer kaynak türlerinde görülen kaynak ara yüzeyindeki ani sertlik artışı ve ergitme kaynağındaki ısı tesiri altındaki bölgenin gevrekleşmesi gibi sorunlar ile karşılaşılması [4]. Bu yüzden kaynaklı numunelerde gözle görülebilir bir çarpılma mevcut değildir.



Şekil 2. Kenar makaslama testi için hazırlanan numune ve kalıbın şematik gösterimi.

Makaslama Test Sonuçları ve Tartışılması

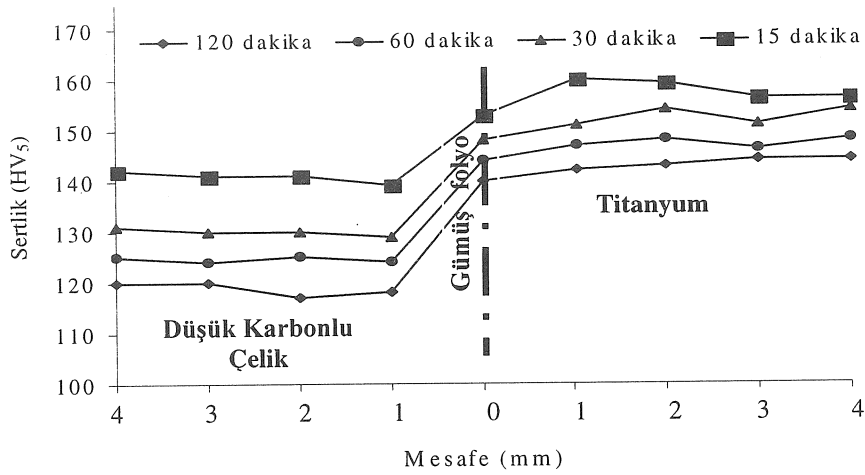
Yapılan deneyler sonucu elde edilen bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. Bu sonuçlar değerlendirildiğinde 15 dakika süre ile yapılan sert lehimleme numunesi ile 30 dakika süre ile yapılan numuneler arasında diğerlerine göre daha çok fark olduğu açıkça görülmektedir.

Bu sonuç ile Şekil 3'de verilen bilgiler beraberce değerlendirildiğinde sertlik eğrisinde de 15 dakikalık numune ile 30 dakikalık numune arasındaki sertlik farkının diğerlerine göre daha fazla olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılmaktadır ki sert lehimleme süresinin artmasıyla sertlik düşmekte buna bağlı olarak makaslama mukavemeti artmaktadır. Makaslama deneyi sonucunda kopma işlemi ara bağlayıcı folyo titanyum malzemede kalacak şekilde

gerçekleşmiştir. Literatür verileri ışığında bir malzemenin makaslama mukavemeti çekme mukavemetinin $\frac{3}{4}$ 'ü kadardır [14]. Deneyler sonucu elde edilen değerler bu birleştirmelerin sağlıklı olduğunu göstermektedir.

Mikroyapı Sonuçları ve Tartışılması

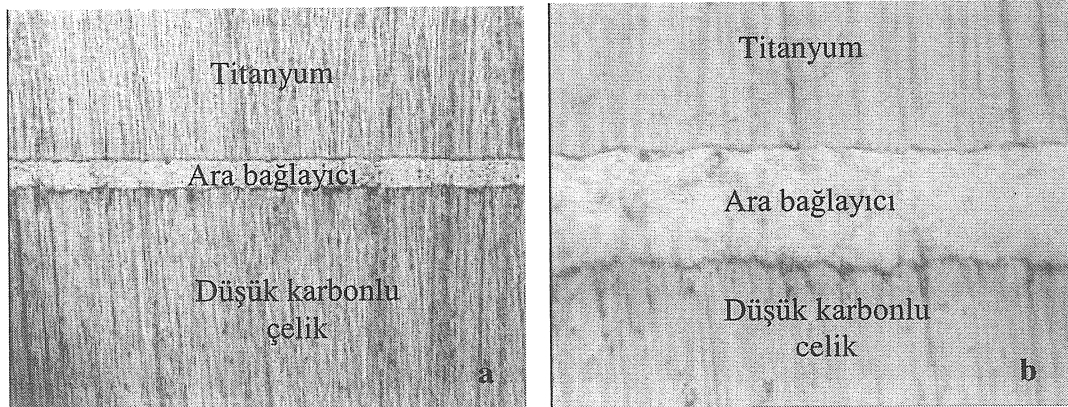
Sert lehimleme ile birleştirilen ve dağlama işlemi yapılmaksızın elde edilen optik mikroskop görüntüleri Şekil 4'de verilmiştir. Burada ara bağlayıcı folyo bir tabaka halinde kendini göstermektedir. Kaynak tecrübelerinden yararlanılarak birleştirmenin gayet iyi olduğu söylenebilir.



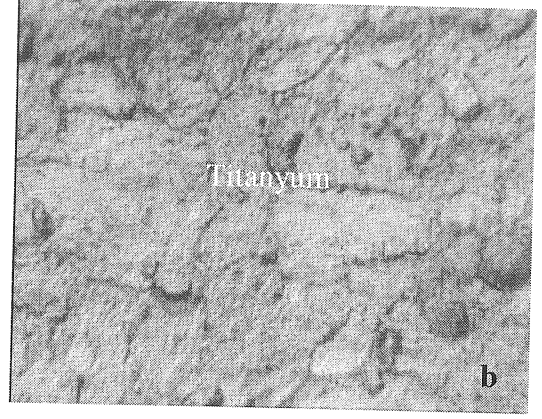
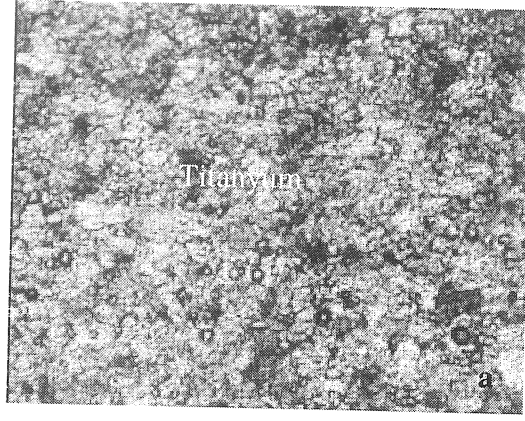
Şekil 3. Birleştirilmiş numunelerde sertlik değişimi.

Tablo 2. Kenar makaslama test sonuçları.

Difüzyon sert lehimleme süresi	15 Dakika	30 Dakika	60 Dakika	120 Dakika
Makaslama Mukavemeti (Kg/mm ²)	23,03	24,63	25,52	26



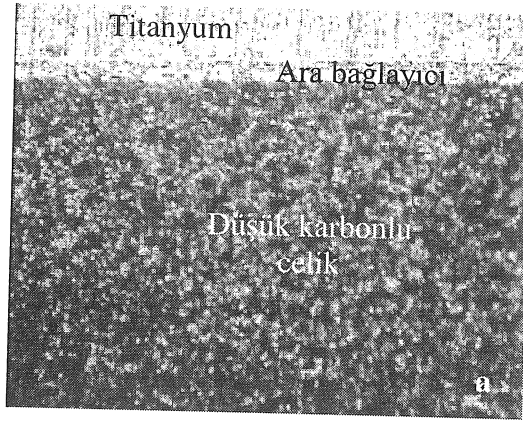
Şekil 4. 15 dakika süre ile birleştirilmiş numunenin dağlama öncesi makro yapısı a) x100 ve b) x400.



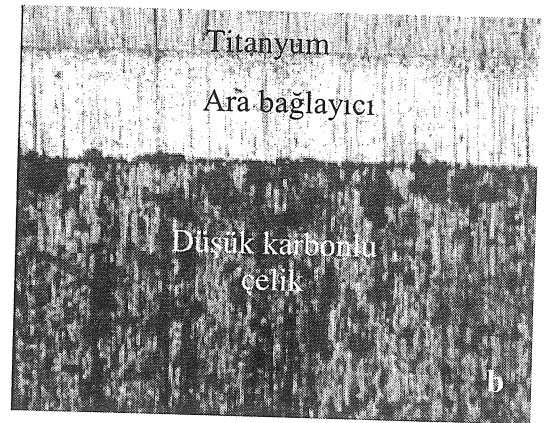
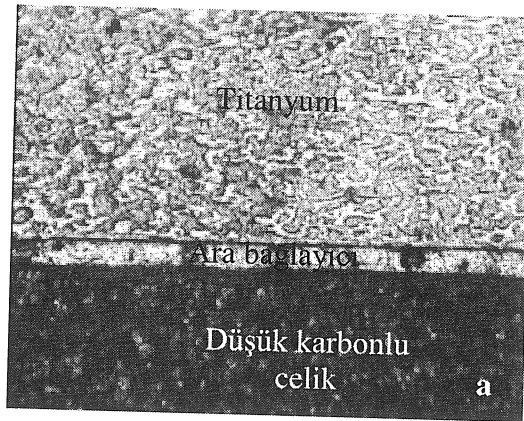
Şekil 5. 15 dakika süre ile birleştirilmiş titanyumun optik mikroskop görüntüleri a)x100 ve b) x400.

Titanyum malzemeden elde edilen görüntülere göre alışılmış kaynak yöntemlerinde elde edilen arayüzeyden uzaklaştıkça değişen mikroyapı burada

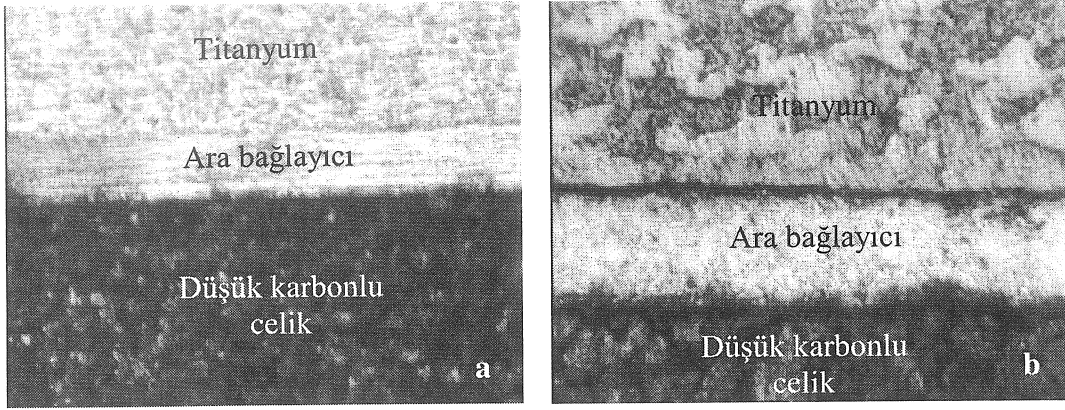
söz konusu değildir. Birleştirme esnasında ve sonrasında meydana gelen ısı farklılıkları bu yöntemle yok edildiğinden görüntü gayet homojen bir tane yapısına sahiptir.



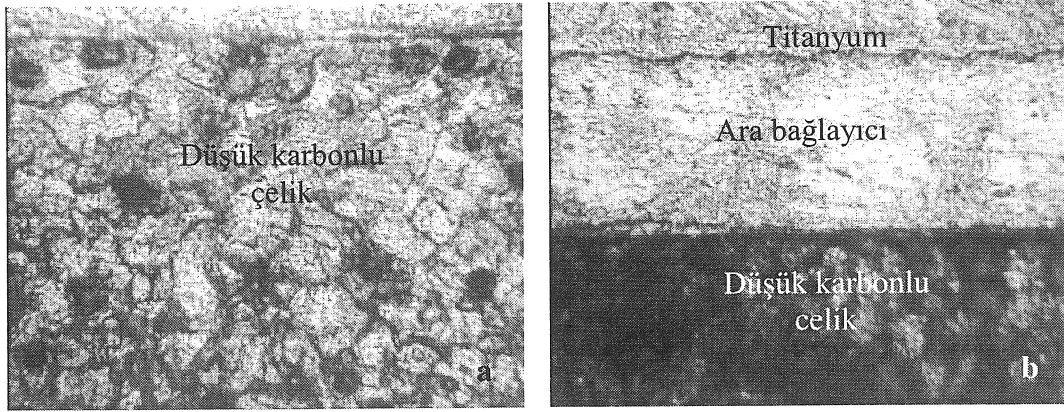
Şekil 6. 120 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirimin ve ara yüzeyinin optik mikroskop görüntüleri a)x100 ve b) x400.



Şekil 7. 60 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirimin ve ara yüzeyinin optik mikroskop görüntüleri a)x100 ve b) x400.



Şekil 8. 30 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirmenin ve ara yüzeyinin optik mikroskop görüntüleri a)x100 ve b) x400.



Şekil 9. 15 dakika süre ile lehimlenmiş birleştirmenin a) düşük karbonlu çelik x 400 ve b) arayüzeyin optik mikroskop görüntüleri x 400.

Sert lehimleme ile birleştirilen numunelerden elde edilen optik mikroskop görüntülerine göre bütün numunelerin her yerinde (ara yüzeye yakın veya uzak bölgelerindeki) tane yapısının aynı olduğu görülmüştür. Bu da kaynak esnasında ısı girdisinin homojen oluşuna bağlıdır. Elde edilen bütün görüntüler değerlendirildiğinde kaynak süresinin artmasıyla birleştirme yardımcısı olarak kullanılan ara bağlayıcı folyonun kalınlığının azaldığı x400 büyütmedeki bütün fotoğraflarda açıkça görülmektedir. Bu görüntüler; hem sertlik hem de makaslama sonuçları ile beraber değerlendirildiğinde sert lehimleme süresinin artmasıyla ara bağlayıcı folyonun incelmeye ve buna bağlı olarak da mukavemetin artması sonucu ortaya çıkmıştır.

SONUÇLAR

- Kenar makaslama testi sonucunda bütün numunelerden elde edilen verilere göre birleştirmelerin mukavemetinin iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

- Birleştirilen numunelerden elde edilen bilgilere göre sert lehimleme süresinin artmasıyla sertlik düşmekte buna bağlı olarak makaslama mukavemeti artmaktadır
- Makaslama deneyi sonucunda kopma işlemi ara bağlayıcı folyo titanyum malzemede kalacak şekilde gerçekleşmiştir.
- Kaynak ısı girdisinin malzemenin her yerinde homojen oluşundan dolayı her bir numunedeki mikroyapı (arayüzeyden uzaklaşmaya rağmen) aynı görünümü sergilemektedir.
- Optik mikroskop görüntülerine göre birleştirmelerde sert lehimleme süresinin artmasıyla ara bağlayıcı folyo kalınlığının azaldığı görülmüştür.
- Sert lehimleme süresini gereğinden fazla uzatmak ekonomik açıdan olumlu değildir.

JOINING OF TITANIUM TO LOW CARBON STEEL BY FURNACE BRAZING AND INVESTIGATION OF THEIR MECHANICAL PROPERTIES

In this study, joining of titanium to low carbon steel, which is very difficult or impossible with conventional techniques, by using diffusion brazing was investigated. Bonding process was carried out by using a silver interlayer under argon gas atmosphere in furnace. The samples were joined under fixed load at 700 °C for different times followed by investigation of mechanical and microstructural properties. Shear tests were applied to determine mechanical properties of the joined samples. Shear test showed that the shear strength is increasing with increased joined time. Shear test also showed that the hardness of constituents and interface decreased after joining process. Optical micrographs indicated that the thickness of interlayer was decreased with increasing the joining time increases.

Key words: Brazing, Microstructure, Shear Test.

KAYNAKÇA

1. Kurt, A., Türker, M., Aksoy, M., Orhan, N., Toz metal bronz malzemenin düşük karbonlu çeliğe difüzyon kaynağında gözenekliliğin difüzyona etkisi, *IWTS'98*, 130-138, İstanbul.
2. Porter, D. A., Easterling, K. E., *Phase transformation in metals and alloys*, 1984, London, Y.K.
3. Yılmaz, O., Çelik, H., Difüzyon kaynaklı paslanmaz çelik-bakır ikilisinde kaynak bölgesi etüdü, *MAMTEK'99*, 166-174, Manisa.
4. Alderon, P. D., Walmsley, D. R., Munir, Z. A., An investigation of diffusion welding of pure and alloyed aluminium to type 316 stainless steel, *Welding Journal*, Vol. 64, Number 4, 104-113, 1985, AWS.
5. Kurşungöz, N., Kurşungöz, H., Difüzyon Kaynağı, *Uluslararası Kaynak Teknolojisi Sempozyumu*, Gedik Eğitim Vakfı, 1996, 203-211, İstanbul.
6. Rosen, R. S., Walmsley, D. R., Munir, Z. A., The properties of Silver-Aided diffusion welds between uranium and stainless steel, *Welding Journal*, April Vol. 65, Number 4, 83-92, 1986, AWS.
7. Oğuz, B., Demirdışı metallerin kaynağı, *Oerlikon kaynak elektrotları ve sanayi A.Ş.* 1990, 468, İstanbul.
8. Oğuz, B., Sertlehimleme, *Oerlikon Yayınları*, 1988, 159, 506-523, İstanbul.
9. Oyama, T., Mizuhara, H., Furnace bazing, *ASM Handbook, Vol. 6, Welding, Brazing, Soldering*, 331-334, 1993.
10. Kalpakjian, S., *Manufacturing processes for engineering materials*, Third edition, Addison-Westley, 1997, 785
11. Degarmo, E.P., Black, J. J., Kohser R. A., *Materials and Processes in Manufacturing.*, 8 th Edition., Prentice-Hall, Inc 1997, 1041.
12. Lalik, S., (Çeviri) Metallerin işlenmesi için temel el kitabı, Yayımlayan: Arbeitsstelle für Betriebliche Berufsausbildung, Bonn, ABB, Frankfurt.
13. Bodur, H. O., Sert lehimleme, *Eczacıbaşı-Askaynak Kaynak Elektrotları ve Telleri*, Nisan 1996, İstanbul.
14. Oğuz, B., Ark Kaynağı, *Oerlikon Kaynak Elektrotları ve Sanayi A.Ş.*, 24, İstanbul, 1986.

Sıkıştırma Oranının Artışının LPG ile Çalışan Buji ile Ateşlemeli Taşıt Motorunun Gücü ve Yakıt Ekonomisine Etkisi

Ali Akbaş
Araş. Gör.

Yakup Sekmen
Araş. Gör.

Perihan Erduranlı
Araş. Gör.

Gazi Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi,
Beşevler, Ankara

Dünya atmosferinde oluşan kirliliğin alarm düzeyine çıkması dünyadaki iklim koşullarına küresel ısınmanın artan etkisi ve belirli ülkelerde uygulanan sıkı anti-kirlilik yasaları benzine alternatif yakıtların araştırılması için temel sebepler arasındadır. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) buji ile ateşlemeli motorlar için yakıt olarak uygun özelliklerinden dolayı kısa sürede benzinin yerini alması için önerilen bir çok alternatifin arasındadır. Bu çalışmada, LPG ile çalışan buji ile ateşlemeli bir taşıt motorunun sıkıştırma oranı artırılarak özgül yakıt tüketimi ve motor gücüne etkileri araştırılmıştır. Sıkıştırma oranının 9,5:1'den 13:1'e artışıyla birlikte yakıt ekonomisinde ortalama %12 iyileşme, motor gücünde yaklaşık %7 artış elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İçten yanmalı motor, Buji ile ateşlemeli motor, Sıkıştırma oranı, LPG.

GİRİŞ

Artan hava kirliliği günümüzde gelişmiş ülkelerin en önemli sorunlarından biridir. Bu kirlenmede motorlu taşıtlardan kaynaklanan egzoz emisyonlarının önemli bir payı bulunmaktadır. Bu durum araştırmacıları çevreye zarar vermeyen alternatif yakıtların arayışına teşvik etmektedir. Sıvılaştırılmış petrol gazı (LPG) ve sıkıştırılmış doğal gaz (CNG) alternatif yakıtlar arasında dünya çapında ve uzun süreli rol oynayabilecek yegane yakıtlar olarak değerlendirilmektedir [1-3].

Dünyanın bir çok ülkesinde LPG bugün alternatif otomobil yakıtı olarak kullanılmaktadır. Otomotiv alanındaki LPG kullanımında İtalya ve Hollanda dünyada öncülük eden ülkelerin başında gelmektedir. Ayrıca Rusya, A.B.D., Avustralya, Japonya, Güney Kore gibi dünyanın bir çok ülkesinde beş milyondan fazla taşıtta sıvılaştırılmış petrol gazı kullanılmaktadır.

Ülkemizde de son yıllarda taşıtların LPG'ye dönüşümü önemli bir taleple karşı karşıyadır ve kullanımda ilk sırayı özellikle büyük şehirlerde ticari taksiler almaktadır. Başlangıçta denetimsiz ve kaçak olarak uygulanan LPG kullanımı 29 Haziran 1995'te Resmi Gazete'de yayımlanan yönetmelik ile yasallaşmış ve uygulamalar hızlanmıştır. Türkiye'de LPG'nin %90'ı evlerde, %5'i sanayide ve %5'i de araçlarda kullanılmaktadır [4,5].

LPG kimyasal yapı ve özellikleri bakımından parafinler ve olefinler grubu içinde yer alır. Genellikle doğal gazdan ve ham petrolün kuyudan çıkarılması ve rafinerilerde tasfiye edilmesi sırasında ham petrolden ayrıştırılarak elde edilen ve kolayca sıvılaştırılabilen propan ve bütan gazlarının basınç altında sıvılaştırılmış halidir. Bu gazlar sıvılaştırıldıklarında hacimce 230 ile 267 kat küçülmektedirler [6]. LPG'de bulunan az miktardaki propilen ve bütilen ise, petrol rafinerilerinde diğer hidrokarbonların krakingi ile elde edilen iki önemli kimyasal hammaddedir. LPG havadan daha ağır, renksiz, kokusuz, parlayıcı ve patlayıcı bir gazdır. Oktan sayısı benzine göre daha yüksektir, ancak enerji yoğunluğu benzine göre kütleli olarak %11, hacimsel olarak %33 daha azdır. Setan sayısı düşük olduğu için dizel motorlarında kullanıma uygun değildir [7-11].

LPG yakıtı motorlarda kirlenici egzoz emisyonlarını önemli ölçüde düşürmektedir. LPG yakıtlı taşıtlarda CO, HC ve NO_x emisyonları benzine oranla düşük seviyelere indirilebilmektedir. Aynı teknoloji seviyesinde iki taşıtta kullanıldığında CO₂ dahil kirlenici emisyonlar önemli oranda benzinli çalışmaya göre azalmaktadır. Ayrıca, LPG kurşun ve sülfür bileşikleri içermemekte, karışım teşekkülü, dolgu dağıtımı ve yanma özellikleri fevkalade iyidir. LPG ve temel taşıt yakıtlarının emisyon değerleri Çizelge 1'de verilmiştir [1,9,10].

Çizelge 1. Üç temel taşıyıcı yakıtın emisyon değerlerinin karşılaştırılması

Emisyonlar	Dizel (%)	Kurşunsuz Benzin (%)	LPG (%)
CO	0.2	6	0.3
HC	6	3	1.8
NO _x	25	50	40
SO ₂	3.25	0.39	0
Aldehit	7.8	2.6	0
Partikül	32.5	6.5	0

Herhangi bir alternatif yakıtın seçilmesi için temel kriterler şunlardır:

- Elde edilebilirlik: Yakıt bol olmalı veya tercihen yenilenebilir kaynaklardan üretilebilmelidir.
- Yüksek özgül enerji içeriği
- Kolay taşınma ve depolanma
- Minimum çevre kirliliği ve kaynak tüketimi
- Güvenlik ve kullanım özellikleri

LPG ile motorun daha fakir karışım ile çalışma eğiliminde olduğu ve motorun daha ekonomik çalıştığı bilinmektedir. Benzin ile karşılaştırıldığında, daha yüksek kalorifik verim değeri, daha düşük yoğunluk ve kaynama noktasına sahip LPG buhar formunda kullanıldığında motorun çalışması ve ömrü önemli derecede iyileşmektedir [12].

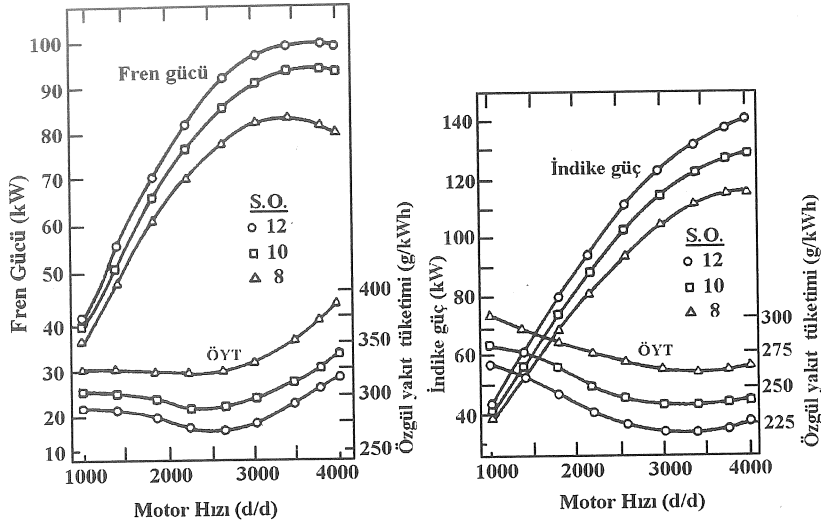
Sıkıştırma oranının artışı hem indike hem de fren özgül yakıt tüketimini azaltmaktadır. Genişleme kursunun son kısmındaki düşük sıcaklıklar sonucu soğutma kayıplarının azalmasıyla artan termal verimden dolayı soğutucuya olan ısı kaybı sıkıştırma oranı artışı ile azalmaktadır. Ayrıca, soğutmaya olan ısı kaybı motor hızıyla azaldığı için indike özgül yakıt tüketimi motor hız artışı ile azalmakta daha sonra bir miktar artmaktadır. Sıkıştırma oranı artışıyla birlikte artan sürtünme ve ısı kayıplarından

dolayı indike özgül yakıt tüketimi, fren özgül yakıt tüketiminden daha hızlı bir şekilde iyileşmektedir. Dolayısıyla her motor için optimum bir sıkıştırma oranı vardır. Şekil 1'de 4.7 litrelik V-8, buji ile ateşlemeli bir motorda tam yükte üç farklı sıkıştırma oranı için motor güç ve özgül yakıt tüketiminin motor hızı ile değişimi görülmektedir [13].

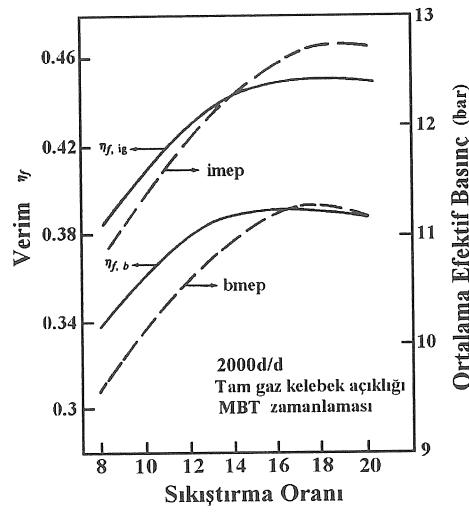
Şekil 2, 5.3 litre silindir hacimli 8 silindirli bir motorda tam gaz kelebek açıklığında ve 2000 d/d'da, sıkıştırma oranına bağlı olarak indike(η_i) ve fren termal verimi (η_b) ve ortalama efektif basınç değişimleri görülmektedir. İndike fren ortalama efektif basınç (imep), fren ortalama efektif basınca (bme_p) sürtünme ortalama efektif basınca eklenmesiyle elde edilmiştir. Deneyler sırasında hava-yakıt oranı ve ateşleme zamanlaması maksimum momenti (MBT) verecek şekilde ayarlanmıştır. 17:1'lik sıkıştırma oranında maksimumu göstermekte daha yüksek sıkıştırma oranları için verim ve ortalama efektif basınç hafifçe azalmaktadır. Bu eğilim yüzey/hacim oranının artışı ve yanmanın yavaşlaması ayrıca yarık-oyuk hacimlerdeki artışlar ile açıklanabilir. Sıkıştırma oranı ne kadar yüksek ise yanma odası yüksekliği o kadar küçük dolayısıyla da yanma odası yüzey/hacim oranı o kadar yüksek olmaktadır [14].

Çizelge 2 LPG ve benzinin özelliklerinin karşılaştırılması [12].

Özellik	Propan	Benzin	Bütan
Kimyasal formül	C ₃ H ₈	C ₈ H ₁₈	C ₄ H ₁₀
Kaynama noktası (°C)	-44	30-225	-0,5
Tutuşma noktası (°C)	470	400	390
Moleküler kütle(kg/kmol)	44,1	114,2	58
Yoğunluk (15 °C-kg/l)	0,507	0,75	0,58
Araştırma oktan sayısı	111	96-98	103
Motor oktan sayısı	97	85-87	89
Tutuşma sınırları (hacimsel %)	2,1-9,5	1,4-7,6	1,5-8,5
Stokiyometrik hava/yakıt oranı (kg/kg)	15,8	14,7	15,6
Alt ısıl değer (MJ/kg)	46,365	42,1	45,46



Şekil 1 Üç farklı sıkıştırma oranı (SO) için fren gücü ve özgül yakıt tüketiminin (ÖYT) motor hızı ile ilişkisi [13].



Şekil 2 İndike ortalama efektif basınç ve hava-yakıt çevrim verimine sıkıştırma oranının etkisi [14].

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, buji ile ateşlemeli LPG ile çalışan bir motorun sıkıştırma oranı yükseltilerek taşıt dinamometresi üzerinde belirli hızlardaki motor gücü, maksimum motor gücü, tekerlek gücü ve özgül yakıt tüketimine etkileri incelenmiştir. Tüketilen yakıt miktarı, ölçme hassasiyeti 0,01 g. olan OHAUS GT 8000 model terazi ile ölçülmüştür. Deney taşıtında kullanılan LPG'nin bildirilen araştırma oktan sayısı 105, stokiyometrik hava-yakıt oranı 15,55'dir.

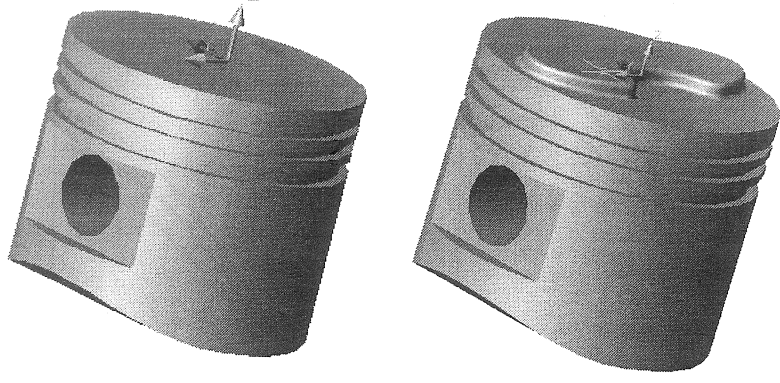
Deneylerde 1976 model Ford Granada marka taşıt kullanılmıştır. Taşıt motoru buji ile ateşlemeli 4 silindirli 1700 cm³. hacmindeki V tipi bir motordur. Taşıt ve motorun teknik özellikleri Çizelge' de verilmiştir.

Motorun pistonları üzerinde değişiklik yapılarak sıkıştırma oranı 9.5:1'den 13:1'e yükseltilmiştir. Standart pistonların tepesine 16 cm³ hacminde ve

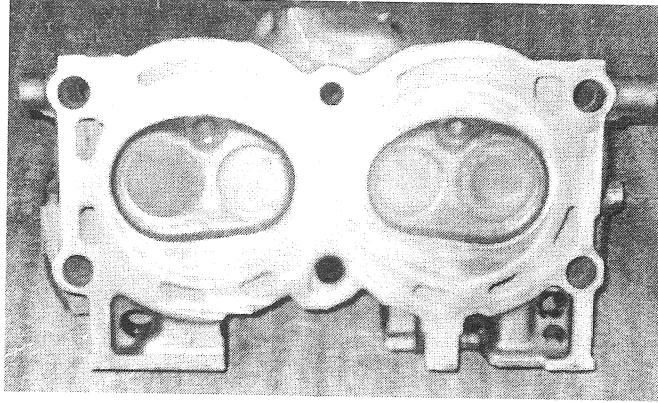
yanma odasına uygun yapıda piston malzemesinden yapılmış parçalar argon kaynağı ile kaynatılmıştır. Şekil 3'de standart piston ile parça ilave edildikten sonraki resimleri görülmektedir. Ayrıca, Şekil 4'de silindir kapağı ve yanma odası şekli görülmektedir.

Çizelge 3 Deney taşıtının teknik özellikleri [15].

Markası, Modeli	Ford Granada, 1976
Silindir sayısı	V 4
Silindir çapı	90mm.
Kurs	66,8mm.
Silindir hacmi	1700 cm ³
Taşıt ağırlığı	1300 kg.
Standart sıkıştırma oranı	9,5
Değiştirilen sıkıştırma oranı	13

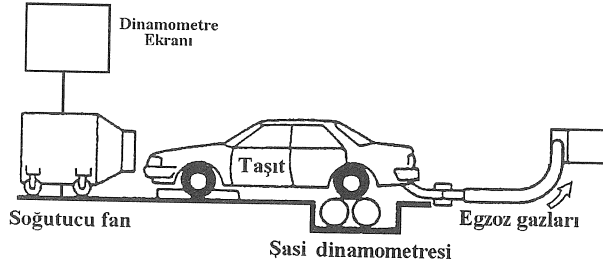


Şekil 3 Standart ve parça ilave edilmiş pistonlar



Şekil 4 Deney motorunun silindir kapağı ve yanma odası

Deneyler, SUN RAM 2000 Road-a-Matic taşıt dinamometresi üzerinde yapılmıştır, Şekil 5. RAM 2000 dinamometre renkli ekranlı bir iletişim kabini ve bilgisayar klavyesi, bir kızıl ötesi uzaktan kumanda ve bir makara setinden oluşmaktadır. İletişim kabinine bağlı hava soğutma fanı uzaktan kumanda ile çalıştırılabilmektedir [16].



Şekil 5 Deney tesisatının genel görünüşü

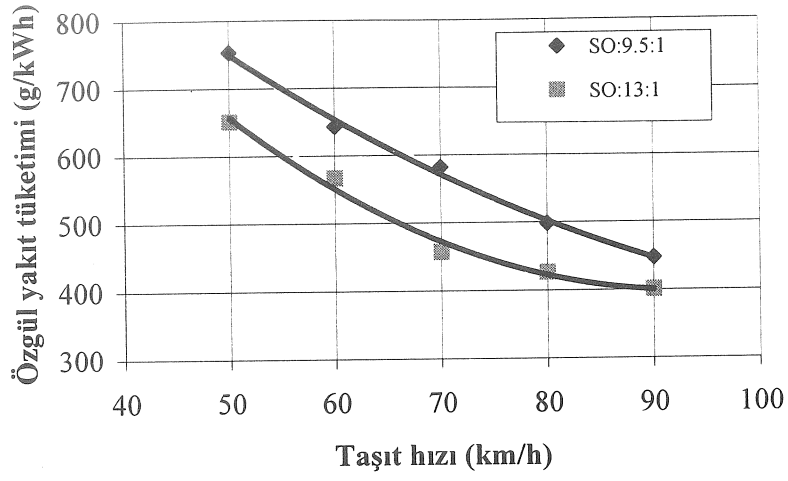
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

LPG benzine göre daha yüksek oktanlı olduğundan benzinli bir taşıt motoru LPG ile çalıştırıldığı zaman sıkıştırma oranının da artırılması gerekmektedir. Aksi halde yanma hızı düşük olduğundan silindir duvarlarından olan ısı kaybı

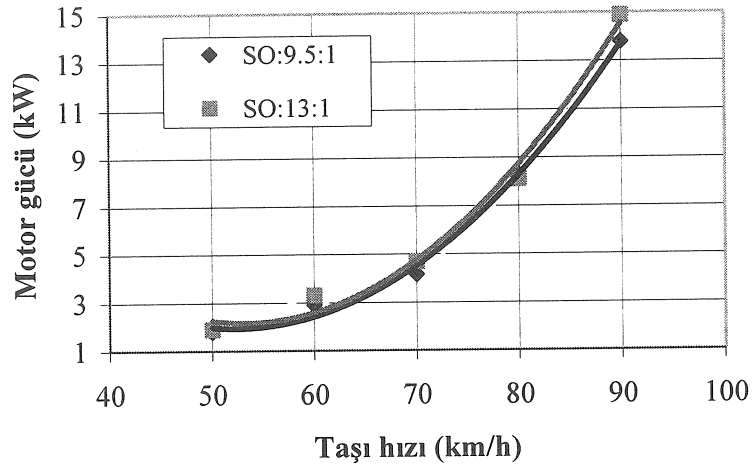
artmakta ve termik verim azalmaktadır. Bir başka ifadeyle güç kaybı meydana gelmekte, özgül yakıt tüketimi artmaktadır. Ayrıca LPG'nin motorda sürüngen yanması sonucu supap yuvaları ve egzoz supapları zarar görebilmektedir.

Artan sıkıştırma oranı yüksek oktanlı LPG'nin daha verimli yanmasını sağlamış ve sıkıştırma oranı yükseltilmeden önce oluşan sürüngen yanmayı ortadan kaldırmıştır. Sıkıştırma oranının 9,5:1'den 13:1'e yükseltilmesiyle özgül yakıt tüketiminde % 11-14 arasında azalma olmaktadır. Çeşitli taşıt hızlarında yapılan deneylerde motor gücünde yaklaşık %7 artış olduğu belirlenmiştir. Maksimum motor gücünde ise %8,5 artış sağlanmıştır. Motorun sıkıştırma oranı artırıldıktan sonra maksimum güçte meydana gelen artış ve özgül yakıt tüketiminde meydana gelen azalma Şekil 6 ve Şekil 7'de açık bir şekilde görülmektedir.

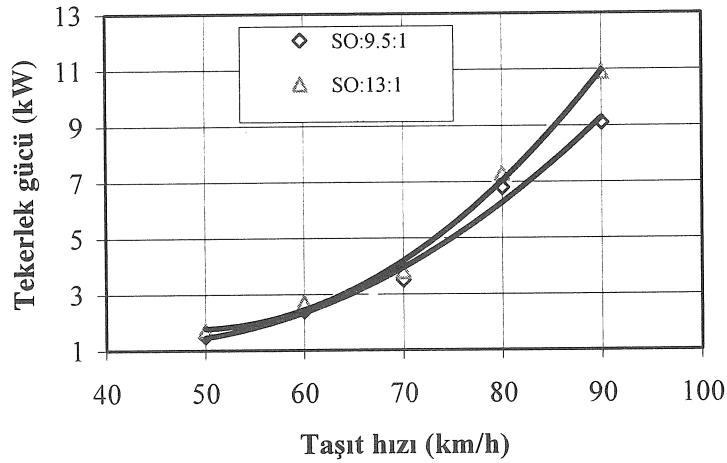
Sıkıştırma oranı 9,5:1 iken taşıt 43 kW maksimum güce 4640 d/d'de 121 km/h hızda, sıkıştırma oranı 13:1 iken ise 47 kW maksimum güce 5080 d/d'de 134 km/h hızda ulaşmıştır. Şekil 8'de standart ve sıkıştırma oranı artırılmış taşıt için tekerlek gücündeki değişim taşıt hızına bağlı olarak görülmektedir. Özellikle yüksek hızlarda sıkıştırma oranı artışıyla belirgin bir güç artışı tespit edilmiştir.



Şekil 6 Farklı iki sıkıştırma oranı için taşıt hızı ile özgül yakıt değişimi



Şekil 7 Farklı iki sıkıştırma oranı için taşıt hızı ile motor gücü değişimi



Şekil 8 Farklı iki sıkıştırma oranı için taşıt hızı ile tekerlek gücü değişimi

SONUÇLAR

LPG benzine göre daha yüksek oktanlı olduğundan benzinli bir taşıt motoru LPG ile çalıştırıldığı zaman sıkıştırma oranının da artırılmasıyla, özgül yakıt tüketimi azalmakta ve motor gücü artmaktadır.

Sıkıştırma oranının 9,5:1'den 13:1'e yükseltilmesiyle motorun özgül yakıt tüketiminde % 11-14 arasında azalma, motor gücünde yaklaşık %7, maksimum motor gücünde %8,5 ve tekerlek çıkış gücünde ise ortalama %6 artış elde edilmiştir.

Ek güvenlik düzenlemeleri gerektirmesi, basınç altında sıkıştırıldığından gaz tankının büyük bir hacim gerektirmesi ve sadece tank kapasitesinin %80'i gerçek kapasite olabilmesi LPG'nin dezavantajları olarak görülmeye devam etmektedir.

THE EFFECT OF INCREASING COMPRESSION RATIO ON FUEL ECONOMY AND POWER OUTPUT USING LPG IN A SPARK IGNITION ENGINE

The alarming rate at which the Earth's atmosphere is getting polluted, the increased impact of global warming on the weather conditions on Earth and the stringent anti-pollution laws imposed in certain countries are among the main reasons for the search for alternatives to gasoline. Liquefied Petroleum Gas (LPG) is among the many alternatives proposed to replace gasoline in the short term due to its excellent characteristics as a fuel for spark ignition engines. In this study, the effect of increasing compression ratio on fuel economy and power output in a spark ignition engine using LPG has been investigated. Improving fuel economy average 12% and increasing power output approximately 7% were achieved by increasing compression ratio from 9.5:1 to 13:1.

Keywords: Internal combustion engines, Spark ignition engines, Compression ratio, LPG.

KAYNAKÇA

1. Başer, A., *Benzin Motorlarında Kısmi Gaz Kelebek Açıklığında LPG Kullanımı Üzerine Bir Araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, GÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1998.
2. Kaplan, C., Avcı, A., Sürmen, A., 1997, LPG Dönüşümü Yapılan Taşıtlarda

Karşılaşılan Performans Problemleri ve Öneriler, 5. *Yanma Sempozyumu Bildiri Kitabı*, 88-95, Kirazlıyayla, Bursa. 21-23 Temmuz 1997.

3. Çetinkaya, S., Sıvılaştırılmış Petrol Gazı ve Özellikleri, *Taşıtlarda Yakıt Olarak LPG Kullanımı Paneli*, S.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, Konya, 1998.
4. Salman, S., Batmaz, İ., Sıvılaştırılmış Petrol Gazı (LPG) Kullanan Taşıtlarda Performans ve Emisyonlar, *G.Ü.T.E.F. Politeknik Dergisi*, Cilt 1, Sayı 1, Ankara, 1998.
5. T.C. Enerji Bakanlığı Yayınları.
6. Clarc, W., Gerpen, J.H., Proceeding of the 1996 International, Fuels and Lubricants Meeting and Exposition, Topics in Alternative Fuels and Their Emissions, *SAE Paper*, V.1208, U.S.A. , October 1996.
7. Tekgürler, M., *Motorlu Araç Teknolojisi*, Mobil Oil Türk A.Ş., 1982.
8. Thring, R., H., *Alternative Fuels, Automotive Engineering*, Vol, 91, Num, 12, 31-33, 1993.
9. Çınar, C., Sekmen, Y., Akbaş, A., Balcı, M., Buji ile Ateşlemeli Motorlarda Kısmi Gaz Kelebek Açıklıklarında LPG Kullanımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma, *Teknoloji Dergisi*, Sayı 1, Karabük, 2001.
10. Borat, O., Balcı, M., Sürmen, A., *İçten Yanmalı Motorlar*, Teknik Eğitim Vakfı Yayınları, Cilt 1., Ankara, 1995.
11. Schneider, D., Evaluating Propane-Powered Lift Trucks, *Plant Engineering*, (Barrington Illionis), V,49, n,9, 66-68, Caterpillar Lift Trucks, Houston, U.S.A. July 1995.
12. Yamin, J.A., Badran, O.O., Analytical study to minimise the Heat Losses from a Propane Powered 4-Stroke Spark Ignition Engine, *Renewable Energy*, Elsevier science Ltd., 2002.
13. Ferguson, C.R., *Internal Combustion Engines*, John Willey&Sons Inc.,Canada, 1986.
14. Heywood, John B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill Book Co., New York, Jan. 1988.
15. *Ford Granada Taşıt Katoloğu*, 1976.
16. *Sun RAM-2000 Road a Matic Şasi dinamometresi kullanım kitapçığı*, 2000.

Sabit Yük ve Sürekli Rejimde Çalışan Pnömatik Sistemler için Etkileşimli Devre Tasarımı

Yakup TURGUT
Araştırma Görevlisi

İhsan KORKUT
Y. Doç. Dr.

G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi,
Makina Eğitimi Bölümü,
06500 Beşevler-Ankara

Bu çalışmada, tasarım parametrelerine göre pnömatik devre tasarım programı geliştirilmesi amaçlanmıştır. Program farklı pnömatik elemanlar ile sabit yük ve sürekli rejimde devre tasarımı yapılmasında olanak sağlamaktadır. Tasarımda, elle, makaralı, mafsal makaralı, selonoid, pnömatik, ve elektro pnömatik kontrollü yön kontrol valfleri kullanılabilir. Pnömatik devre tasarım kuralları menüsü yardımı ile pnömatik devrenin hareket biçimi ve kumanda şekli belirlenebilmektedir. Devre tasarım menüsünde, (A+A-), (A-A+), (A-A+B+B-), (A+B+A-B-), (A+B-A-B+), (A-B-A+B+), (A-B+A+B-) ve (A+A-B+B-) hareketleri bir veya iki silindir ile tanımlanabilmektedir. Hesaplamalar menüsünde, pnömatik devre tasarım kriterlerinden, piston kolu çapı, piston kolu boyu, piston itme kuvveti, piston çekme kuvveti, piston hızı ve tüketilen hava miktarı hesaplanabilmektedir. Hazırlanan programa yeni pnömatik elemanlar ilave edilebilir. Bilgisayar programı Delphi 4.0 programlama dilinde hazırlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Pnömatik Devreler, Pnömatik Elemanlar, Bilgisayar Destekli Tasarım

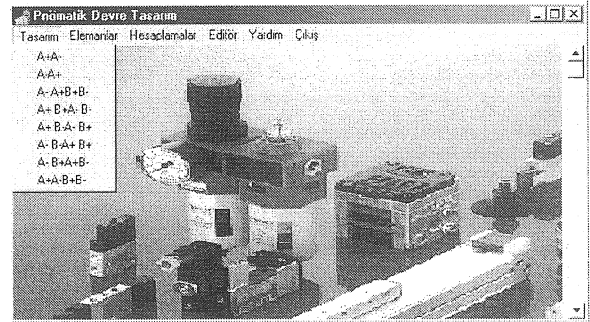
GİRİŞ

Basıncı ve kontrol edilebilen hava ile doğrusal, dairesel ve açısal hareketler elde edilmesini sağlayan sistemlere pnömatik sistemler denilmektedir. Pnömatik sistemlerin, üretim alanlarında kullanılması çok eski yıllara dayanmaktadır. Günümüze kadar pnömatik sistemler ve pnömatik sistemlerin tasarımı konusunda birçok araştırmalar yapılmıştır. Özellikle, pnömatik devre tasarımı bilgisayar ortamına taşıyan, dikkate değer araştırmalar mevcuttur (1,2,3,7,8). Bazı araştırmacılar, pnömatik dijital sistemler veya pnömatik sistemlerde mantık kurallarının uygulanması gibi doğrudan pnömatik uygulamalara yönelmişlerdir (1,5). Bazı araştırmacılar ise pnömatik sistemlerde karşılaşılan problemleri çözmeye yönelik yaklaşımlar geliştirmeye çalışmışlardır (2,4,6). Literatür araştırma sonuçlarına göre, günümüze kadar hidrolik ve pnömatik sistemler ile birçok çalışma bilgisayar ortamına taşınmıştır. İncelenen çalışmaların önemli bir kısmı line ve bloklama işlemlerinden oluşmaktadır. Örneğin, menülerden seçilen elemanlar sürükleyip bırakarak ekranın değişik yerlerine yerleştirilip aralarındaki pnömatik hatlar çizgilerle birleştirilerek devre çizimleri yapılmaktadır (3,9). Bu çalışmada ise kullanıcının isteği doğrultusundaki silindir hareketlerini, değişik kumanda biçimlerine sahip valfler ile yapabilen pnömatik devreler tasarlanmaktadır. Pnömatik devrelerde TS 1306'da ifade edilen standart semboller kullanılmıştır. Tasarımın bilgisayar

ortamına taşınması ile pnömatik devre tasarımında bilgisayarın ve bilgisayar destekli tasarımın sahip olduğu avantajlar da kullanıcıya sunulmaktadır. Hazırlanan programda pnömatik hesaplar sabit ve sürekli rejim için yapılmıştır (7,8,9,15,16).

PROGRAM GİRİŞ MENÜSÜ

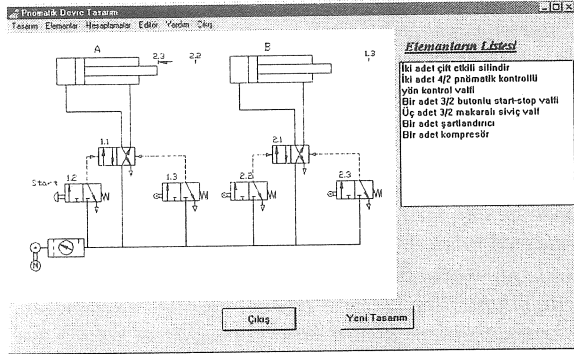
Programın en önemli modüllerinden birini "Devre Tasarım Menüsü" oluşturmaktadır. Bu modülde, Şekil 1'de görüldüğü gibi kullanıcı oluşturacağı devredeki silindirin veya silindirlerin hangi hareketi yapacağını belirlemektedir.



Şekil 1. Devre tasarım menüsü

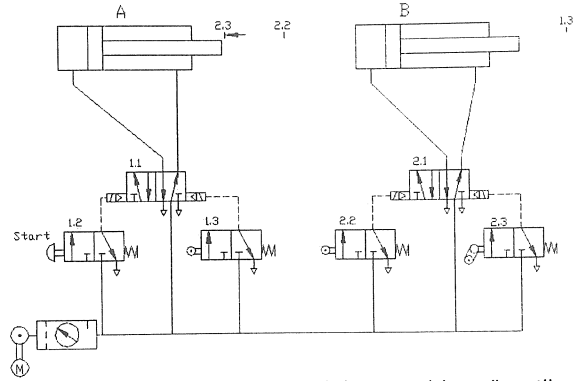
Devre tasarım menüsünden silindir hareketi belirlendikten sonra devre tasarım alt menüsü ekrana gelir. Bu menü yardımı ile, devre tasarım dosya adı,

kayıt yeri ve yön kontrol valfinin kontrol biçimine karar vererek "Tamam" komutu seçildiğinde, otomatik olarak bir pnömatik devre tasarımı yapılmış olur. Tasarlanan devre ve bu devrede kullanılan elemanların listesi Şekil 2'deki gibi tasarım anında görülebilmektedir.



Şekil 2. Tasarlanan devre ve kullanılan elemanların listesi

Kullanıcı bu işlemleri yaparken, devre tasarımı için gerekli elemanları da belirlemiş olmaktadır. Örneğin, A+B+A-B- hareketi seçildiğinde iki silindirli bir devre tasarlamak istendiği program tarafından algılanır (A ve B harfleri silindirleri, '+' pistonun ileri ve '-' pistonun geri hareketini ifade etmektedir). Önceden oluşturulan veri tabanından, o silindirler ile ilgili dosya okunarak tasarım dosyasına yazılır. Daha sonraki seçim işlemi olan, kumanda biçiminde ise yön kontrol valfinin biçimine karar verilmiş olur. Kontrol biçimi olarak elle kontrol seçimi yapıldığı zaman, veri tabanından elle kontrollü ve ilk seçime göre iki adet silindiri kontrol edebilecek, yön kontrol valfleri belirlenmiş olmaktadır. Program, veri tabanından ilgili yön kontrol valflerinin verilerini de alarak, oluşturulan tasarım dosyasındaki silindir bilgilerinin altına ekler. Pnömatik devre için gerekli olan diğer elemanlar (kompresör, şartlandırıcı), otomatik olarak tasarım dosyasına eklenir. En son işlem olarak, sadece elemanların bulunduğu tasarım dosyasına, bu elemanları, devrenin biçimine göre birleştirecek hatların eklenmesi gerekmektedir. Bu işlem için, her bir elemanın giriş ve çıkış noktaları veri tabanından alınır, bu giriş ve çıkış noktalarının koordinatları arasında pnömatik hatlar oluşturularak tasarım dosyasına eklenir. Şekil 3'te A+B+A-B- hareketlerini yapan iki adet çift etkili silindir, elektro-pnömatik sinyal kontrollü yön kontrol valfleri ile oluşturulmuş devre görülmektedir.

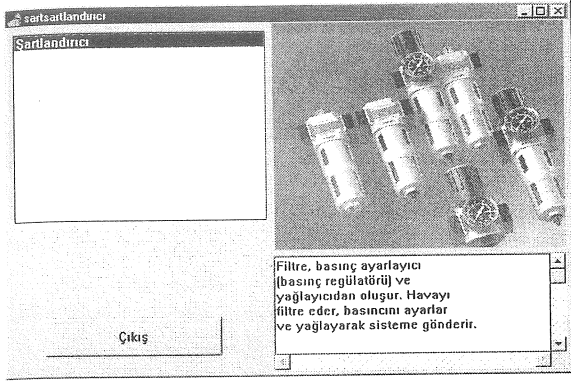


Şekil 3. A+B+A-B- hareketlerini yapan bir pnömatik devre

Tasarım dosyası, standart bir veri yapısı olan DXF veri dosyası olarak oluşturulmaktadır. Bu dosya, herhangi bir CAD yazılımı tarafından görülebilir. Ayrıca, tasarım esnasında da görülebilmesi için tasarım dosyası BMP uzantılı olarak kayıt edilmektedir. Böylelikle tasarım dosyası program tarafından çağrılarak, tasarlanan pnömatik devrenin ekranda görülmesi sağlanır. Tasarım sayfası her bir eleman için belli bölgelere ayrılmış ve elemanların o bölgelere çizilmesi sağlanmıştır. Böylelikle veri tabanından okunan elemanlar, tasarım sayfasında ekranın değişik koordinatlarına aktarılmaktadır. Örneğin, silindirler ekranın en üst bölgesine ve belirli bir koordinata, valfler ise başka koordinata göre çizilmiştir. Böylece hem elemanların üst üste gelmesi önlenmiş, hemde silindirlerle valfleri birleştiren yollar tanımlanabilmiştir. Pnömatik devre tasarımı için gerekli olan bütün elemanlar için, DXF veri tabanı dosyaları hazırlanmıştır. Daha önce yapılan bir çalışmada tek silindirli devreler tasarlandığı için bu çalışmada, iki silindirli veri dosyaları ve kural cümleleri ilave edilmiştir. Toplam 330 DXF veri tabanı dosyası oluşturulmuştur.

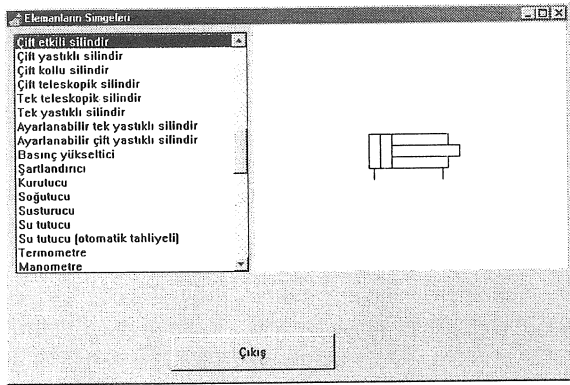
PNÖMATİK ELEMANLAR MENÜSÜ

Bu modülde, pnömatik sistemlerde kullanılan temel elemanların resimleri ve kısa açıklamaları yer almaktadır. Bu elemanlar, silindirler, valfler, kompresör, şartlandırıcı, filtre, pnömatik motor ve bağlantı elemanlarından oluşmaktadır. Bu menüden "Şartlandırıcı" menüsü seçildiğinde pnömatik sistemlerde kullanılan şartlandırıcının resmi görülmektedir. Bu elemanların Şekil 4'te görüldüğü gibi değişik biçimlerinin, gerçek resimleri ve çalışma yöntemini açıklayan bilgiler resim altında görülebilmektedir.



Şekil 4. Pnömatik şartlandırıcı

Ayrıca bunlara ilave olarak, bütün pnömatik elemanların sembolleri "Elemanların Sembolü" komutu ile ekrana alınabilmektedir (Şekil 5).

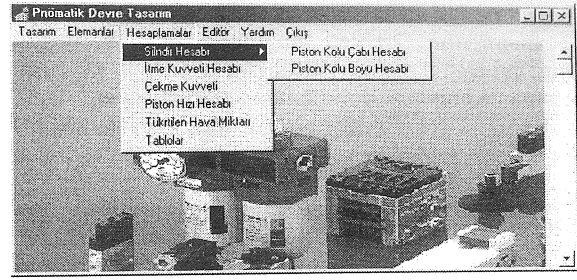


Şekil 5. Pnömatik elemanların sembolleri

Pnömatik elemanların sembolleri komutu ile pnömatik devre elemanları hakkında bilgi verilmektedir. Elemanların gerçek resimlerini ve sembollerini göstererek birbirleri arasında bağlantı kurulmuş ve programa eğitcilik özelliği kazandırılmıştır.

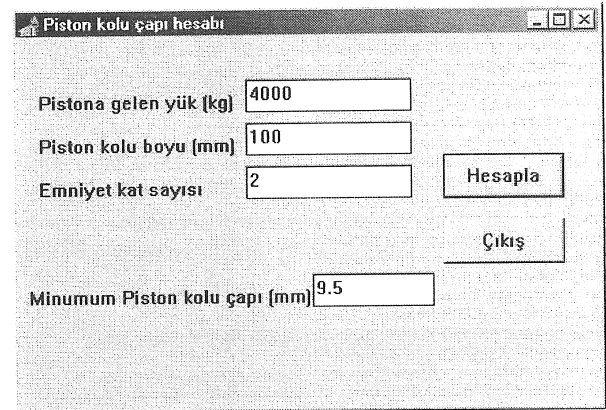
TASARIM PARAMETRELERİ

Tasarım parametreleri modülünde, silindir (piston kolu çapı ve piston kolu boyu) hesabı, itme kuvveti, çekme kuvveti, piston hızı, tüketilen hava miktarı hesabı ve hesaplamalar için gerekli tablolar bulunmaktadır. Bu modül ile pnömatik devrelerde kullanılan elemanların tasarım parametrelerinin hesaplanması hedeflenmiştir. Kullanıcı Şekil 6'da verilen ekran menüsü bilgilerini girerek hesaplama komutunu seçtiğinde tasarım parametreleri program tarafından hesaplanmaktadır.



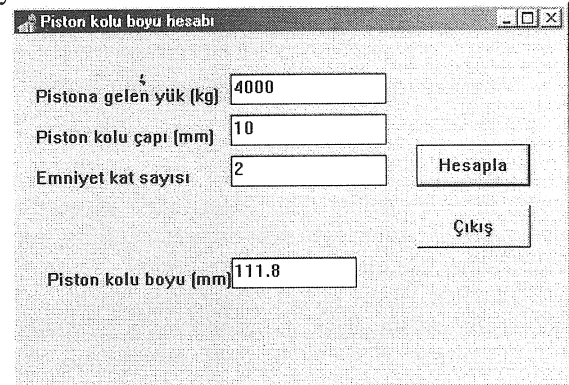
Şekil 6. Hesaplamalar menüsü

Piston kolu çapı hesabında (Şekil 7) kullanıcı tarafından pistonu gelen yük, piston kolu boyu ve emniyet katsayısı girilerek hesaplama komutu seçildiğinde, piston kolu çapının alabileceği en küçük değerdeki çap, menüdeki tanımlı alana yazılmış olmaktadır.



Şekil 7. Piston kolu çapı hesap menüsü

Piston kolu boyu hesabında (Şekil 8) kullanıcı tarafından pistonu gelen yük, piston kolu çapı ve emniyet katsayısı girilerek hesaplama komutu seçildiğinde piston kolu boyunun alabileceği en büyük değer, piston kolu boyu tanımlı alana yazılmaktadır.



Şekil 8. Piston kolu boyu hesap menüsü

Piston itme kuvveti hesabında (Şekil 9) piston çapı, çalışma basıncı ve silindirin verimi girilerek hesapla komutu seçildiğinde pistonun en fazla itebileceği kuvvet (yük) piston itme kuvveti tanımlı alanına yazılmaktadır.

Şekil 9. İtme kuvveti hesabı menüsü

Piston çekme kuvveti hesabında (Şekil 10) piston çapı, piston kolu çapı, çalışma basıncı ve silindirin verimi girilerek hesapla komutu seçildiğinde, piston çekme kuvveti tanımlı olan alana otomatik olarak yazılır.

Şekil 10. Çekme kuvveti hesabı menüsü

Piston hızı hesabında (Şekil 11) piston çapı, kompresör çıkış debisi ilgili alana yazılarak hesapla komutu seçildiğinde pistonun en fazla hesaplanarak tanımlı alana yazılmış olur.

Tüketilen hava miktarı hesabında (Şekil 12) piston çapı, çalışma basıncı, piston kurs boyu ve kurs sayısı girilerek hesapla komutu seçildiğinde bir silindirin dakikada tüketeceği hava miktarı hesaplanabilmektedir. Çıkan bu değere bağlı olarak sistemde kullanılması gereken kompresör seçilebilmektedir.

Şekil 11. Piston hızı hesabı menüsü

Şekil 12. Tüketilen hava miktarı menüsü

Tüketilen hava miktarı hesabında, diğer hesaplamalardan farklı olarak, kullanılan silindirin piston çapına ve sistemin çalışma basıncına bağlı olarak silindirin her santimetresi için gerekli olan hava miktarına ihtiyaç vardır (Şekil 12). Bu amaçla, Şekil 13'te görüldüğü gibi standart piston çaplarına ve 1 bar ile 15 bar arasındaki sistem basınçlarına bağlı olarak hava tüketim miktarı veri tabanı hazırlanmıştır.

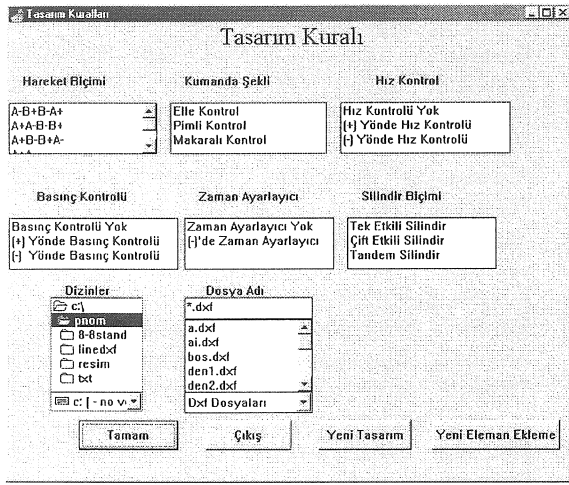
PCAP	CBASINC	HTUK
6	1	0.0005
6	2	0.0008
6	3	0.0011
6	4	0.0014

Şekil 13. Tablolar veri tabanı menüsü

Program, otomatik olarak kullanıcının girdiği piston çapı ve sistem basıncına bağlı olarak Şekil 13'te görülen veri tabanından piston kurs boyunun her cm'si için gerekli hava miktarını almakta ve tüketilen hava miktarı hesabında kullanılmaktadır.

EDITÖR MODÜLÜ

Editör modülünde devre tasarım modülündeki mevcut pnömatik elemanlara yeni elemanlar eklenebilmektedir. Böylelikle, daha verimli ve kontrol edilebilir pnömatik devreler tasarlanabilmektedir. Ayrıca editör modülü sayesinde farklı devre tasarımları yapılabildiğinden çalışmaya esneklik kazandırılmıştır. Şekil 14'te görüldüğü gibi menüler yardımı ile tasarlanacak devrenin elemanları ve kontrol biçimleri seçilebilmektedir.

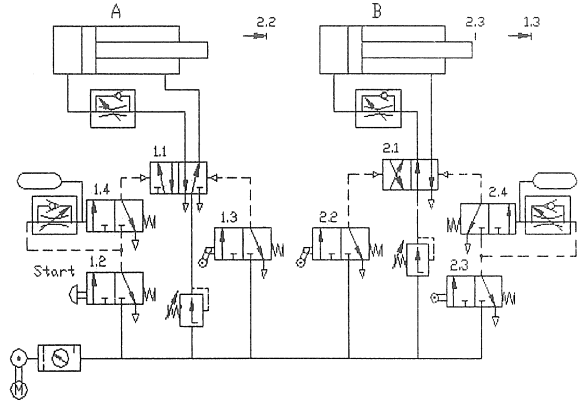


Şekil 14. Tasarım kuralları menüsü

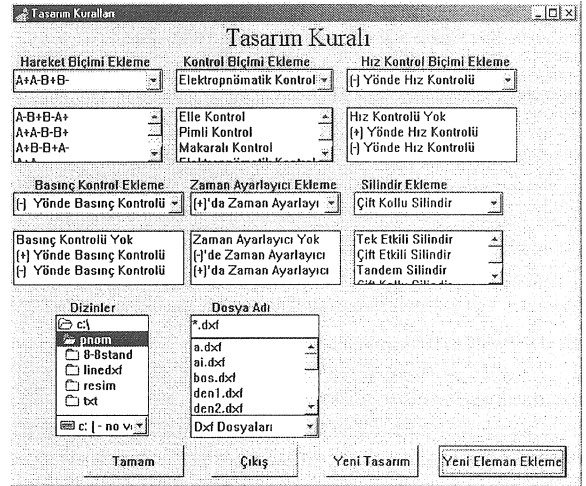
Hareket biçimi menüsünden, A-B+B-A+ seçildiğinde pnömatik kontrollü, (+) yönde hız kontrollü, (+) yönde basınç kontrollü, (+)'da zaman ayarlayıcı ve çift etkili silindirlere oluşan bir devre tasarlanır (Şekil 15).

Editör modülünde, tasarlanan devre DXF ve BMP formatında oluşturulmaktadır. Bu modülün, devre tasarım modülünden ayrı bir modül olarak tasarlanmasındaki amaç, programa eklemeler yapılabilmesini sağlamaktır.

Kullanıcı tarafından programa yapılacak ilaveler menülerin sonuna eklenmelidir. Yapılacak ilavelerin tasarım dosyası veri tabanları "linedxf" dizini altına kopyalanmalıdır. Kullanıcı, "Tasarım Kuralları" menüsündeki elemanlara yeni eleman eklemek istediğinde "Yeni Eleman Ekleme" butonunu seçerek tasarım menüsündeki tüm tasarım kurallarına veya herhangi bir kurala eklemeyi yapabilmektedir. Kullanıcı, tasarım kuralının üzerindeki komut eklemeye kutusundan istediği elemanı seçerek eklemeyi gerçekleştirebilir (Şekil 16).

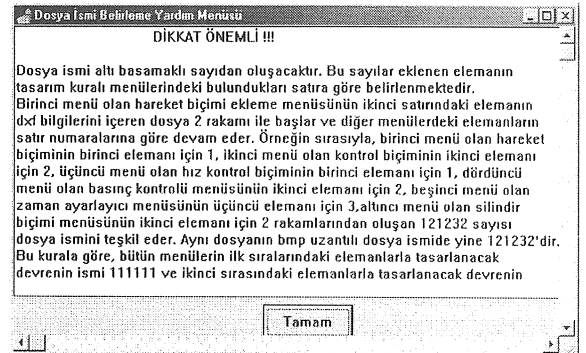


Şekil 15. A+B-B+A- pnömatik kontrollü, hız kontrollü, basınç kontrollü, zaman ayarlamalı bir devre



Şekil 16. Kural cümlesi ekleme menüsü

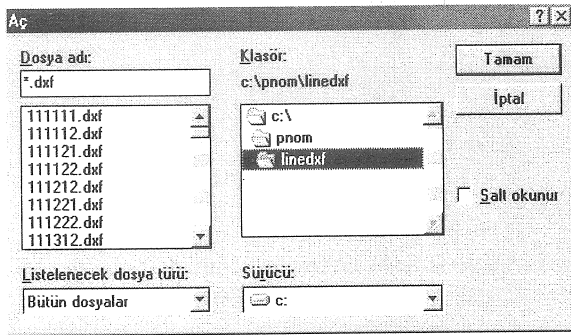
Hareket biçimine eklemeyi yapmak istendiğinde, "Hareket Biçimi Ekleme" menüsü altındaki komut eklemeye kutusundan A+A-B+B- hareketi seçildiğinde, bu hareketleri yapacak devrenin DXF bilgilerinin kaydedileceği dosyanın ismini belirlemek için yardım menüsü ekrana gelmektedir (Şekil 17).



Şekil 17. Dosya ismi belirleme yardım menüsü

Yardım menüsünde kullanıcı dosya isminin nasıl belirlendiğini görebilmektedir. Bu menüden

“Tamam” komutu seçildiğinde, dosya isminin yazılacağı diyalog menüsü ekrana gelmektedir (Şekil 18). Dosya ismi yazılıp tamam komutu seçildiğinde, dosya “linedxf” dizini altında kaydedilmektedir.



Şekil 18. Dosya diyalog menüsü

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile pnömatik devre tasarımı bilgisayar ortamına taşıdığından, pnömatik devre tasarımı, geleneksel yöntemlerin yerine bilgisayar destekli tasarım teknikleri uygulanabilmektedir. Tasarımcıya sunulan menüler yardımı ile farklı hareket şekilleri ve farklı yön kontrol valfleri seçilebilmektedir.

Kural cümlesi ekleme modülü ile programa yeni elemanlar, hareket biçimleri ve yeni kural cümleleri eklenebilmektedir. Pnömatik sistemlerde kullanılan bütün elemanların resimleri, standart sembolleri ve açıklama bilgileri, tasarım safhasında ekranda görülebilmektedir. Böylelikle, programa geliştirilebilir ve eğitici özellikleri eklenmiştir.

Pnömatik sistemleri oluştururken hesaplanması gereken tasarım parametreleri program tarafından hesaplanabilmekte ve tasarım dosyaları DXF uzantılı olarak kayıt yapılabilmektedir. Tasarım işlemi sonucunda, tasarımda kullanılan pnömatik elemanların listesi kullanıcıya sunulmaktadır.

INTERACTIVE CIRCUIT DESIGN FOR PNEUMATIC SYSTEMS UNDER CONSTANT LOAD AND STADY-STATE CONDITIONS

In this study, development of pneumatic circuit design program based on the design parameters is aimed. The program can be used to design pneumatic systems under constant load and steady-state conditions using different pneumatic elements. In this program, manual, roller, joint roller, solenoid, pneumatic and electropneumatic controlled direction control valves can be used. With the help of design rules, the motion and control of the circuit to be designed can be chosen. The (A+A-), (A-A+), (A-A+B+B-), (A+B+A-B-), (A+B-A-B+), (A-B-A+B+), (A-B+A+B-) and (A+A-B+B-) motions with one or two cylinders can be described in the design menu.

By using calculation menus, piston rod diameter and rod length, piston forces, piston speed and air consumption can be calculated. New pneumatic elements can also be incorporated into the program. The software was written in Delphi 4.0 programming language.

Keywords: Pneumatic Circuits, Pneumatic Components, Computer Aided Design

KAYNAKÇA

1. Jacic L.J., 1985, Computer Aided Design of Pneumatic Digital System, APPROACH, *Fluid Control and Measurement*, Tokyo, Jpn, v.1, 95-100.
2. Jacik L. A., 1986, Computer Aided Synthesis of Pneumatic Control Systems, *Publ by BHRA*, Cranfield, Engl, 141-144.
3. Hassan C., Haron C., Wai Kew K., 1994, Computer Aided Drawing and Design of Pneumatics Circuits (PNEUCADDS), *International Conference on Multi Media Engineering Education Proceedings IEEE*, Piscataway, NJ, USA, 203-206.
4. Tekiner Z., Korkut I., 1998, Bilgisayar Destekli Hidrolik Devre Tasarımı, *Z.K.Ü Teknoloji Dergisi*, Sayı 1, 36-44, Karabük.
5. Korkut İ., Korucu S., 1998, “Mantık Kurallarının Pnömatik Sistemlerde Uygulanması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, 125-136, Isparta.
6. Klinzing G.E., Dyakowski T., Jan 1998, Proceedings of the 1996 Conference on Pneumatic and Hydraulic Conveying Systems, *Powder Technology* v 95 n 1. Elsevier Science S.A., Lausanne, Switzerland
7. Turgut Y., Korkut İ., 2001 “Çift Etkili Silindirli Bilgisayar Destekli Pnömatik Devre Tasarımı” *Celal Bayar Üniversitesi II.Makine Malzemesi ve İmalat Teknolojisi Sempozyumu*, Manisa.
8. Tekiner Z., Korkut İ., “Bilgisayar Destekli Pnömatik Devre Tasarımı”, *Türk Mühendislik ve Çevre Bilimleri Dergisi*, Cilt 25, Sayı 1, 31-38, TÜBİTAK, Ankara.
9. Erşahin M.A., Ünlüsoy Y.S., 1999, “Hidrolik Güç Sistemlerinin Bilgisayar Yardımı İle Tasarımı ve Simülasyonu”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası (Bildiriler Kitabı), 1.Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi*, İzmir.
10. Chadwick B., 1996, Software Makes Pneumatic Circuit Design Easy, *Hydraulics and Pneumatics*, v.49, n.3, 163-164,190.
11. Chadwick B., 1997, Design and Simulate Air Circuits on Your PC, *Hydraulics and Pneumatics*, 8, 10, 38-339.
12. Chuang S.H., Du C.Y., 1996, Representation and Scheme for Motion Simulation of Pneumatic

Control Circuits, *Simulation Practice and Theory*, 3, 6, 365-381.

13. Hitchcox A.L., 1997, "Tips and tricks for air valve selection", *Hydraulics & Pneumatics* v 50 n 11 Nov 1997. p 47-48, 50.
14. Wong PK., Leung TP., Chuen C.W., Chan W.H., 1994, Object Oriented CAD for Electro-Pneumatic Sequential Circuit Design in Low Cost Automation, *Proceeding of The 1994 IEEE Semposium on Emerging Tecnologies and Factory Automation*, Tokyo, Jpn.
15. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 2001, *Pnömatik Devre Elemanları ve Uygulama Teknikleri*, yayın no, MMO/2001/293, İstanbul.
16. Arun N., Akkoç H., 1997, *Pnömatik İletim Temel Bilgileri*, makina mühendisleri odası, İzmir.

Dizaltı Ampute Yumuşak Doku Mekanik Özelliklerinin Araştırılması için Deney Cihazı Tasarımı ve Üretimi

Ergin Tönük

Y. Doç. Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Ankara

Dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş bireyler günlük yaşamlarını sürdürmek için çoğunlukla protez ile rehabilite edilir. Kas-iskelet sisteminden gelen yükler amputasyon güdüğündeki yumuşak dokular aracılığıyla protez soketine aktarılır. Hem yumuşak dokularda oluşan yüksek basınç noktalarının belirlenmesi hem de yumuşak doku-protez mekanik etkileşimini modellemek için sonlu eleman andırımları kullanılmış ancak istenen hassasiyette sonuç elde edilememiştir. Sonlu eleman andırımlarındaki en büyük eksikliğin yumuşak doku mekanik özelliklerindeki bilinmeyenler olduğu kanısı yaygındır. Yumuşak doku mekanik özellikleri ile ilgilenen az sayıdaki araştırma merkezi kendi çalışmaları için yumuşak doku deney sistemleri geliştirmiştir. Bu çalışmada, Gülhane Askeri Tıp Akademisi ile ortak yürütülen bir çalışma kapsamında tasarlanan ve üretilen yumuşak doku deney sistemi sunulmuştur. Deney sistemi yumuşak dokuyu yükleyecek bir adım motoru ve yumuşak doku tepki kuvvetini ölçecek bir yükölçerden oluşan taşınabilir deney birimi, deney birimine kumanda eden ve bilgisayarla iletişimini sağlayan bir denetim kutusu ve tüm sistemi denetleyen ve toplanan verileri saklayan bir taşınabilir bilgisayardan oluşmaktadır. Hastaların yumuşak dokuları üzerinde devirli yükleme, gevşeme ve sünme deneyleri yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yumuşak Doku Deneyleri, Devirli Yükleme Deneyi, Gevşeme Deneyi, Sünme Deneyi, Dizaltı Amputasyon Cerrahisi, Rehabilitasyon.

GİRİŞ

Ülkemizde yaşanan terör olayları, trafik ve iş kazaları nedeniyle azımsanmayacak sayıda dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş genç birey vardır. Dünyadaki gidişe paralel olarak uzayan yaşam süresi özellikle diyabet ve vasküler problemler nedeniyle alt ekstremitte amputasyon cerrahisi geçirmiş yaşlı nüfusta yakın gelecekte artışa neden olacaktır.

Dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş bireylerin önemli bir bölümü protez ile rehabilite edilmektedir. Günümüzde en yaygın kullanılan dizaltı protezi, tasarım ilkeleri ilk kez Kaliforniya Üniversitesi (A. B. D) tarafından 1958 yılında önerilen PTB (patellar tendon bearing, patellar ligamana ek yükleme yapan) protezlerdir (Şekil 1). Bu proteze ait protez ayak, pilon ve bağlama parçaları protez-ortez uzmanınca bireyin durumuna ve yaşam şekline göre standart ürünler arasından seçilirken protez soketi her birey için protez-ortez uzmanınca özel olarak tasarlanıp üretilmektedir. Soket üretimi için güdüğün kalıbı

almaz, yük taşımaya duyarlı bölgeler "şişirilerek" (soket yüzeyi güdüğün ekseninden uzaklaştırılarak) bu bölgelerin taşıdığı yük azaltılırken yük taşımaya uygun bölgelerde sokete sekiler yapılarak bu bölgelerin daha çok yük taşıması sağlanır. Soket tasarımının başarısı protez-ortez uzmanının deneyimine ve hastadan gelen geri bildirimine bağlıdır.

Protez soketi tasarımını protez-ortez uzmanının deneyiminden ve hastanın geri bildiriminden bağımsız olarak objektif bir yöntemle yapabilmek ve yumuşak doku-protez soketi mekanik etkileşimini inceleyerek soket tasarımını geliştirebilmek için deneysel çalışmalar ve bilgisayar modelleri (çoğunlukla sonlu eleman andırımları) kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar pahalı teçhizat ve özel protez soketi gerektirdiği için araştırma aşamasında kalmış ve klinik ortamda bugüne kadar kullanılamamıştır [1-5]. Dizüstü [6-13] ve dizaltı [14-24] ampute güdüğünlerin protez soketiyle etkileşimini modelleyen bilgisayar andırımları bugüne kadar istenen hassasiyette sonuç vermemiştir. Bilgisayar

andırmalarının büyük çoğunluğu iskelet sistemi ile protez soketi arasındaki arayüzü oluşturan yumuşak dokuyu doğrusal elastik malzeme olarak modellemiştir. Alt ekstremitte yumuşak dokuları üzerinde yapılan deneysel çalışmalarda [22, 25-28] bu dokuların aşağıda sıralanan mekanik özellikleri gösterdiği gözlenmiştir:

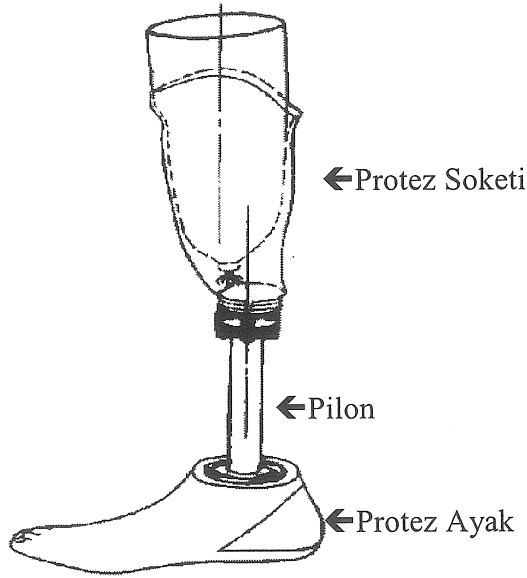
1. Mekanik davranışın, özellikle protez soketiyle etkileşimde olduğu gibi büyük yer değiştirme ve yüksek basınç altında, doğrusal elastik malzeme davranımından önemli oranda saptığı,

2. Belirgin bir "alışma" (ilk birkaç yüklemde dokunun daha direngen davranması, daha sonraki yüklemelerde direngenliğin bir miktar azalarak bu yüklemelerde tekrar edilebilir sonuç alınması) davranışının olduğu,

3. Sabit deformasyon altında tepki kuvvetinin zaman içinde azaldığı (gevşeme),

4. Sabit yük altında deformasyonun zaman içinde arttığı (sünme),

5. Aynı bireyin değişik anatomik bölgelerinde ve değişik bireylerin aynı anatomik bölgesinde yumuşak doku mekanik davranışının çok farklı olduğu ve deney yapılmaksızın bu davranışın öngörülebilmesinin şimdiki bilgi düzeyimizle olanaklı olmadığı.



Şekil 1 Modern bir PTB Protezin Ana Parçaları

Alt ekstremitte yumuşak doku mekanik davranışının araştırılması deneylerinde ultrasonik [27] veya mekanik yüklemeye yapan deney cihazları [25-26] kullanılmıştır. Protez soketinin kalıntı bacak yumuşak dokularını yüklemesine benzer yüklemeye sağladığı için dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş bireylerin yumuşak doku mekanik özelliklerinin

araştırılması için mekanik bir deney cihazının daha uygun olacağına karar verilmiştir.

Tasarlanıp üretilen yumuşak doku deney cihazından alınacak yer değiştirme-yumuşak doku tepki kuvveti-zaman verilerinin çalışmanın ilerleyen bölümlerinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ve evrik problem çözümü ile yumuşak doku malzeme sabitlerinin kestirilmesinde kullanılacağı umulmaktadır. Elde edilecek daha gerçekçi yumuşak doku malzeme modelleri sayesinde güdük yumuşak dokuları ile protez soketi mekanik etkileşimi bilgisayar üzerinde daha gerçekçi olarak incelenebilecek, böylece protez soketi tasarımına katkıda bulunulabilecektir.

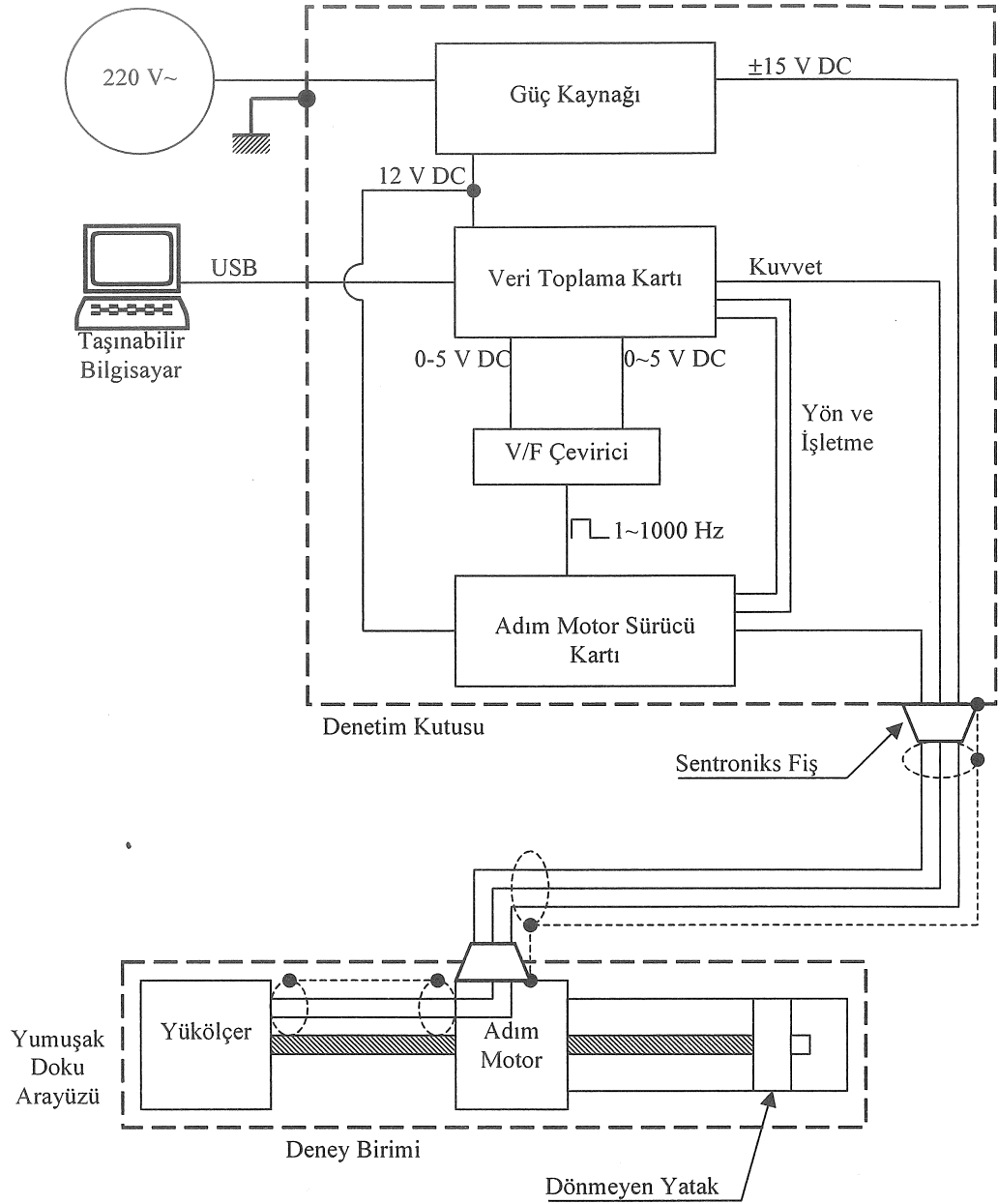
YUMUŞAK DOKU DENEY CİHAZI

Tasarım

Tasarımı yapılan yumuşak doku deney sistemi birbirleriyle iletişim içinde olan üç ana parçadan oluşmuştur (Şekil 2). Bu parçalar, deney birimi, denetim kutusu ve taşınabilir bilgisayardır.

Deney birimi: Deney birimi alt ekstremitte yumuşak dokuları üzerinde değişik mekanik yüklemeye deneyleri yapmak içindir (Şekil 3). Deney yapılacak bölgeye kolayca ulaştırılabilmesi için taşınabilir olmasına özen gösterilmiştir. Deney birimi 0.05 mm çözünürlüğe sahip doğrusal adım motoru tarafından hareket ettirilir. Adım motorunun arkasında vidalı motor milinin dönmesini engelleyen ve ileri-geri çalışmasını sağlayan dönmeyen bir yatak vardır. Vidalı milin diğer ucunda 50 N'a kadar basma yükünü ölçebilen bir yük ölçer ve yumuşak dokuyla etkileşim içinde olan değişebilir deney ucu vardır. Deney ucu geometrisi deney yapılacak anatomik bölgenin ve deneyin özelliklerine göre düz, elipsoid veya küresel olabilir. Deney ucunun yan yüzeyi silindriktir ve değişik çaplarda olabilir.

Denetim kutusu: Denetim kutusu deney birimine kumanda eden ve deney biriminden gelen veriyi toplayan veri toplama kartı ile diğer yardımcı birimlerin toplu halde bulunduğu, iç hacmi harici elektromanyetik parazitlerden yalıtılmış bir kutudur. Denetim kutusu iki bölmeden oluşmuştur. Üst bölmede deney sisteminin bilgisayarla iletişimini sağlayan veri toplama kartı ve adım motorunu istenen hızda sürmek için kullanılan voltaj-darbe çeviricisi vardır. Alt bölmede ise birbirinden elektriksel olarak yalıtılmış 15 V DC simetrik güç kaynağı (deney birimindeki kuvvet ölçerinin besleme gerilimi için) ve 12 V DC güç kaynağı (veri toplama kartı ve adım motorunun besleme gerilimi için) ile adım motorunun sürücü kartı vardır. Alt ve üst bölmeler arasında elektromanyetik parazit geçişini önlemek için ekranlama vardır.

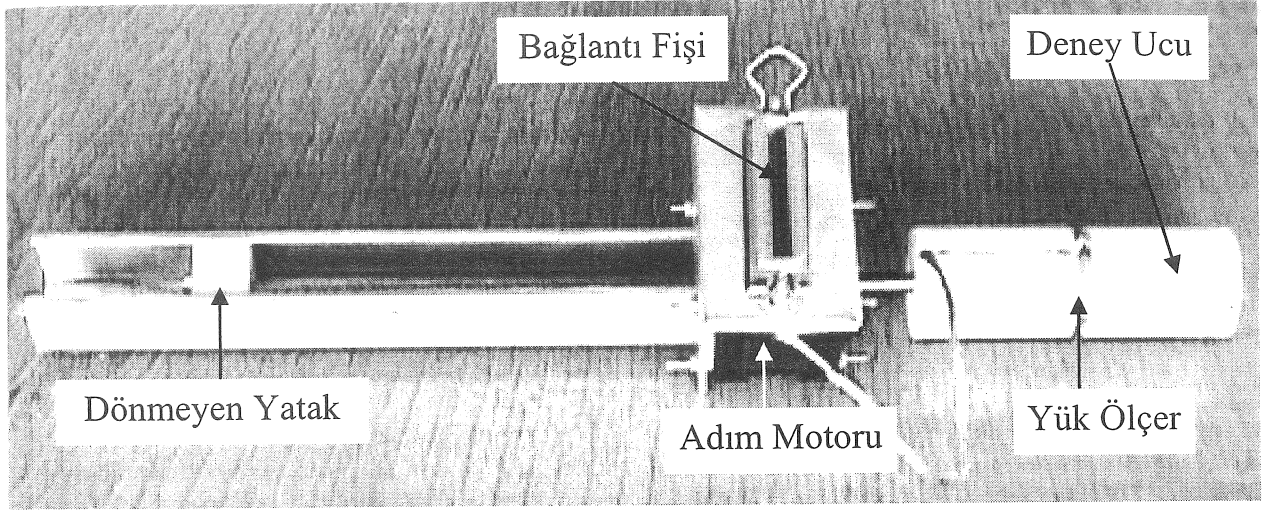


Şekil 2 Yumuşak doku deney sisteminin şematik gösterimi

Denetim kutusu deney birimi ile Sentroniks fiş ve elektromanyetik parazitten korunmuş 2.5 m uzunluğundaki kablo aracılığıyla iletişim içindedir.

Taşınabilir bilgisayar: Sisteme kumanda eden ve elde edilen veriyi toplayan, işleyen ve saklayan taşınabilir bilgisayardır. Denetim kutusu içindeki veri toplama kartı ile USB kablosu aracılığıyla iletişim içindedir. Deney arayüzü veri toplama kartı arayüz yazılımları kullanılarak ODTÜ yerleşke lisanslı Matlab® 6.1 üzerinde hazırlanmıştır.

Deney sisteminin klinik ortamda kullanımını basitleştiren bu yapı sayesinde üç birim birbiriyle sadece iki kablo aracılığıyla iletişim kurmakta, taşınabilir bilgisayar kendi şarjlı bataryası ile çalıştırılmakta, sadece denetim kutusu 220 V AC şebekeye bağlanmakta, bu bağlantı ile tüm cihazların toprak bağlantısı da yapılmaktadır.



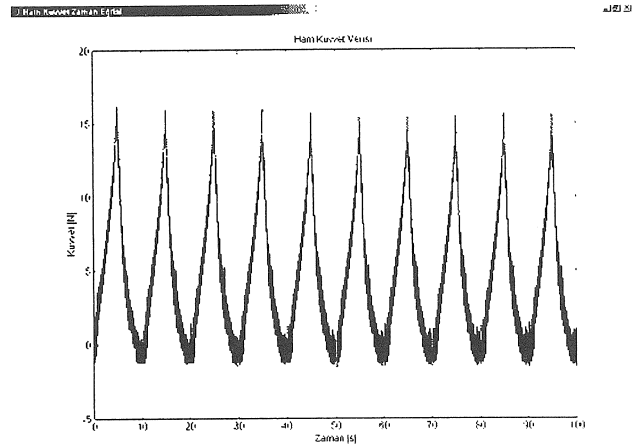
Şekil 3 Deney Birimi

Deneme Çalıştırması

Deney sistemi yumuşak dokular üzerinde üç farklı tipte deney yapmak üzere tasarlanmıştır. Bu deneyler devirli yükleme deneyleri, gevşeme deneyleri ve sünme deneyleridir.

Devirli yükleme deneyleri: Devirli yükleme deneyleri yumuşak dokunun belirli bir yükleme hızında direngenliği hakkında fikir edinmek için kullanılır. Direngenliğin yanı sıra yükün artış ya da azalış yönünde olmasına bağlı olarak mekanik enerji kaybı hakkında bilgi verir. Alıştırma yapılmamış yumuşak dokular üzerinde yapılan devirli yükleme deneyleri dokunun alışma özellikleri hakkında da bilgi verir.

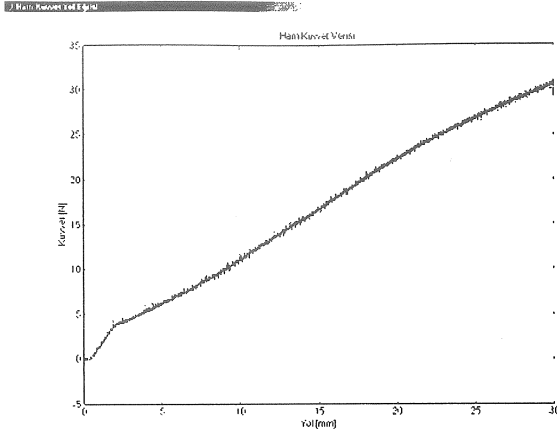
Yumuşak doku deney sistemi 0.11 ile 14 mm/s arasında istenen hızda devirli yükleme deneyi yapabilmektedir. Bu deneylerde diğer ayarlanabilen deney parametreleri deney yapılacak devir sayısı ve deney ucunun yer değiştirmesidir. Deney sırasında yumuşak doku tepki kuvveti kaydedilmektedir. Viskoelastik bir malzeme üzerinde yapılan devirli yükleme deneyinden alınan ham sonuçlar Şekil 4'te gösterilmiştir. Adım motorunun darbeleri hareketinden ötürü kuvvet verisinde motor darbeleri görülmektedir. Ham kuvvet verisindeki darbeleri azaltmak için yük ölçerden sonra bulunan yumuşak doku deney ucunun kütlesi 20 gram civarına indirilmiş, böylece darbeler sonucu oluşan ve yumuşak doku tepki kuvvetiyle birlikte ölçülen deney ucunun eylemsizlik kuvveti azaltılmıştır. Kuvvet verisi toplama hızı adım motorun her bir adımında 20 kuvvet verisi alınacak biçimde ayarlanmıştır. Böylece kuvvet verisinden, darbelerden kaynaklanan eylemsizlik kuvvetleri uygun bir filtre ile ayıklanabilecektir.



Şekil 4 Devirli yükleme deneyinde yumuşak doku ham tepki kuvveti-zaman grafiği.

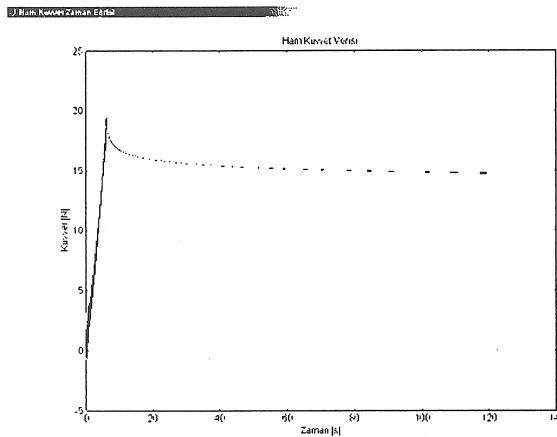
Şekil 5'de viskoelastik bir malzeme üzerinde yapılan tek devirli bir deneyin tepki kuvveti-yol ham sonuçları sunulmuştur. Yumuşak doku deney ucu ileri giderken tepki kuvveti daha yüksekken uç geri dönerken tepki kuvveti daha azdır. Grafikteki iki eğri arasında kalan alan bir devir sırasında deney malzemesinde yitirilen mekanik enerjiyi göstermektedir.

Gevşeme deneyleri: Gevşeme deneyleri yumuşak dokunun deney birimi tarafından belirli bir deformasyon altında tutulurken uyguladığı tepki kuvvetindeki değişimin gözlenmesidir. Gevşeme deneyleri sayesinde yumuşak dokunun zamana bağlı malzeme özelliklerinden gevşeme zaman sabitleri ve gevşeme büyüklükleri hakkında bilgi edinilir.



Şekil 5 Bir devirde enerji kaybını gösteren yumuşak doku ham tepki kuvveti-yol grafiği (üstteki eğri ileri alttaki eğri geri gidişteki tepki kuvveti)

Gevşeme deneylerinde ayarlanabilen deney parametreleri ilk deformasyon hızı, deney biriminin duracağı deformasyon miktarı veya tepki kuvveti ve gevşemenin gözleneceği zaman sürecinin uzunluğudur. Şekil 6'da viskoelastik bir malzeme üzerinde yapılmış gevşeme deneyinde tepki kuvvetinin zamana göre değişimi sunulmuştur.

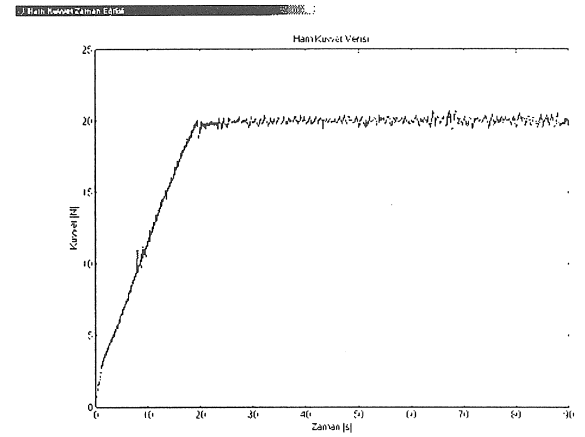


Şekil 6 Gevşeme deneyinde ham tepki kuvvetinin zamana göre değişimi

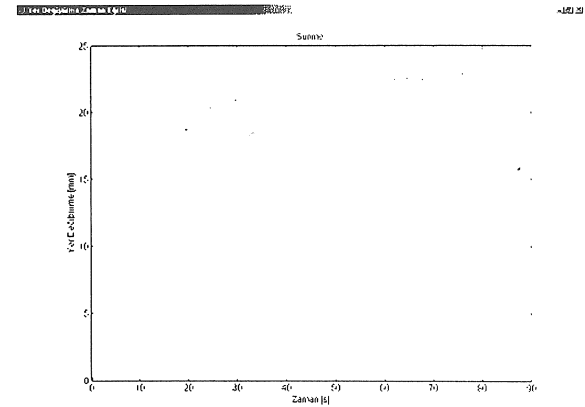
Sünme deneyleri: Sünme deneyleri yumuşak dokunun belirli bir hedef tepki kuvvetine kadar yüklenmesi, ardından tepki kuvvetin hedef kuvvet değerinde sabit tutulması ve yumuşak doku deformasyonunun zaman içinde gözlenmesidir. Sünme deneyleri gevşeme deneyleri gibi yumuşak dokunun zamana bağlı malzeme özelliklerinden sünme zaman sabitleri ve sünme büyüklükleri hakkında bilgi verir. Doğrusal viskoelastik malzemeler için sünme zaman sabitleri ve sünme büyüklükleri gevşeme zaman sabitleri ve gevşeme büyüklüklerinden kestirilebileceği halde yumuşak

dokular gibi doğrusal olmayan viskoelastik malzemeler için her iki deneyin de yapılması gereklidir [29-32].

Sünme deneylerinde ayarlanabilen deney parametreleri ilk deformasyon hızı, hedef kuvvet değeri ve hedef kuvvet değerinde bekleme süresidir. Şekil 7'de viskoelastik malzeme üzerinde sünme deneyi sırasında elde edilen ham tepki kuvveti verisi sunulmuştur. Adım motorlu deney sistemi yer değiştirme denetimli bir sistem olduğu için sünme deneyi gibi kuvvet denetimli deneylerin yapılabilmesi için devirli yükleme veya gevşeme deneylerinde kullanılmayan, gerçek zamanlı çalışan bir denetim sistemine gereksinim duyar. Anılan denetim sistemi tepki kuvveti hedef kuvvetten farklı ise adım motorunu kuvvet farkı ile orantılı bir hızda ileri veya geri hareket ettirmektedir. Kuvvet farkına göre adım motor hızının seçilmesi sırasında ayarlanabilir kazanç denetimi vardır. Şekil 8'de ise aynı deneye ait ham deney ucu yer değiştirme grafiği sunulmuştur.



Şekil 7 Sünme deneyinde ham tepki kuvvetinin zamana göre değişimi



Şekil 8 Sünme deneyinde yer değiştirmenin zamana göre değişimi

SONUÇ

Tasarım ve üretimi yapılan yumuşak doku deney sistemi canlı yumuşak dokuların mekanik özellikleri hakkında invazif olmayan yöntemlerle bilgi edinebilmek için ilgili bireyler üzerinde devirli yükleme, gevşeme ve sünme deneyleri yapılabilmektedir.

Üç ana parça ve iki iletişim kablosuyla bir elektrik beslemesinden oluşan tasarım klinik ortamda kullanım kolaylığı sağlayacaktır. Henüz dünyada kabul görmüş bir yumuşak doku deney sistemi veya yumuşak doku deney yöntemi yoktur. Tasarlanan sistemin denetimi genel amaçlı Matlab® 6.1 yazılımı ile taşınabilir bilgisayar aracılığıyla yapılmakta, bu sayede yumuşak doku deney yöntemleri üzerinde gereksinim duyulan değişiklikler kolayca yapılabilmektedir. Yumuşak doku deney sisteminde kullanılan mekanik parçaların önemli bir bölümü ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Mekanik Atelyesinde üretilmiştir ve gereksinim duyulması halinde bu parçaların tasarımı kolaylıkla değiştirilebilmektedir.

Yumuşak doku deney sisteminin viskoelastik malzemeler üzerinde denenmesi tamamlanmış, dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş hastalarda deneylerin başlayabilmesi için etik kurul kararı alınabilmesi için gerekli başvuru yapılmıştır.

Geliştirilen yumuşak doku deney sistemi sayesinde başta dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş bireyler olmak üzere çeşitli protez veya ortez kullanan bireylerin yumuşak dokularının protez veya ortez yükleri altında davranışları konusunda daha ayrıntılı bilgi edinilebileceği gibi devamlı yatmak ya da oturmak zorunda olan bireylerin yumuşak dokularındaki yüklemeye ötürü oluşan yatak yaralarının mekanik oluşum süreci hakkında da daha ayrıntılı bilgi sahibi olunabilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma için beni yüreklendiren Prof. Dr. S. Turgut Tümer'e, geliştirilen yumuşak doku deney sisteminin dizaltı amputasyon cerrahisi geçirmiş bireyler üzerinde kullanılmasını sağlayacak olan Gülhane Askeri Tıp Akademisi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalından Doç. Dr. Sabri Ateşalp, Y. Doç. Dr. Cemil Yıldız ve Protez-Ortez Uzmanı Necmettin Daştan'a, yumuşak doku deney cihazının mekanik parçalarını büyük bir titizlikle üreten ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Mekanik Atelyesi personeline teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışma MİSAG-183 projesi kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiş, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından PRO/AD programı kapsamında bir araştırma görevlisi kadrosu sağlanmıştır.

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A TEST SYSTEM TO INVESTIGATE THE MECHANICAL PROPERTIES OF SOFT TISSUES

The individuals with trans tibial amputation are generally rehabilitated by prosthesis. Soft tissues of the residual limb act as interface to transfer the forces between the musculo-skeletal system and the prosthetic socket. Although finite element models have been utilized to investigate the high pressure points on soft tissue and to model the soft tissue prosthetic socket mechanical interaction, the results obtained are not within desired accuracy. It is believed that there are many unknown aspects regarding the mechanical response of soft tissues. There exist few soft tissue mechanical test systems which were designed and constructed by the research centers conducting research on soft tissue mechanical behavior. The design and construction of a soft tissue test system that will be used to investigate the mechanical behavior of trans tibial amputee soft tissues in conjunction with Gülhane Military Medical Academy is presented. The experimental setup is composed of a portable test unit (a step motor to load the soft tissue and a loadcell to measure the soft tissue reaction force), a control box interfacing the test unit and the computer, and a portable computer controlling the whole system and logging the data. The system can perform *in vivo* cyclic loading, force-relaxation and creep experiments.

Keywords: Soft Tissue Experiments, Cyclic Loading Experiments, Relaxation Experiments, Creep Experiments, Trans-tibial Amputation, Rehabilitation

KAYNAKÇA

1. Sanders, J. E. and Daly, C. H., Measurement of stresses in three orthogonal directions at the residual limb-prosthetic socket interface, *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, 1 (1993), 79-85.
2. Sanders, J. E., Lam, D. Dralle, A. J. ve Okumura, R., Interface pressures and shear stresses at thirteen socket sites on two persons with transtibial amputation, *J. Rehabil. Res. Dev.*, 34 (1997) 19-43.
3. Sanders, J. E., Bell, D. M., Okumura, R. M. ve Dralle, A. J., Effects of alignment changes on stance phase pressures and shear stresses on transtibial amputees: Measurements from 13 transducer sites, *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, 6 (1998), 21-31.
4. Zhang, M., Turner-Smith, A. R, Tanner, A. ve Roberts, V. C., Clinical investigation of pressure and shear stress on the trans-tibial stump with a prosthesis", *Med. Eng. Phys.* 20 (1998), 188-198.

5. Sanders, J. E. ve Daly, C. H., Interface pressures and shear stresses; sagittal plane angular alignment effects in three trans-tibial amputee case studies", *Prosthet. Orthotics Int.* 23 (1999), 21-29.
6. Seguchi, Y., Tanaka, M., Akazawa, Y., Nakagawa, A., ve Kitayama, I., Finite element analysis and load identification of above-knee prosthesis socket, *Proc. 4th Intl ANSYS Conf. Pt 2*, 12.31-12.44, 1989.
7. Brennan, J. M., ve Childress, D. S., Finite element and experimental investigation of above-knee amputee limb/prosthesis systems: A comparative study, *Proc. Bioeng. Conf. (ASME-BED)*, 20 (1991), 547-550.
8. Mak, A. F. T., Yu, Y. M., Hong, M. L., ve Chan, C., Finite element models for analyses of stresses within above-knee stumps, *Proc. 7th World Cong. ISPO*, 147-148, 1992.
9. Zhang, M., ve Mak, A. F. T., Finite element analysis of the load transfer between an above-knee residual limb and its prosthetic socket – roles of interface friction and distal-end boundary conditions, *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, 4 (1996), 337-346.
10. Douglas, T. S., Solomonidis, S. E., Lee, V. S. P., ve Spence, W. D., Automatic boundary extraction from magnetic resonance images of the residual limb of a trans-femoral amputee, *Proc. 19th Ann. Conf. Eng. Med. Biol.*, 2, 577-579, 1997.
11. Tanaka, M., Akazawa, Y., Nakagawa, A. ve Kitayama, I., Identification of pressure distribution at the socket interface of an above-knee prosthesis, *Adv. Eng. Software*, 28 (1997), 379-384.
12. Zhang, M., Mak, A. F. T. ve Mak, J., Air cushion action at the distal end of above-knee stump with a prosthetic socket *Proc. 20th Ann. Conf. Eng. Med. Biol.*, 5, 2754-2756, 1998.
13. Torres-Moreno, R., Biomechanical analysis of the interaction between the above-knee residual limb an prosthetic socket, *Doktora Tezi*, Univ. Strathclyde, Glasgow, İngiltere, 1991.
14. Silver-Thorn, M. B., Steege, J. W., ve Childress, D. S. A review of prosthetic interface stress investigations, *J. Rehabil. Res. Dev.*, 33 (1996), 253-266.
15. Zachariah, S. G. ve Sanders, J. E., Interface mechanics in lower-limb external prosthetics: A review of finite element methods, *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, 4 (1996), 288-302.
16. Zhang, M., Mak, A. F. T. ve Roberts, V. C., Finite element modelling of a residual lower-limb in a prosthetic socket: A survey of development in the first decade, *Med. Eng. Phy.*, 20 (1998), 360-373.
17. Steege, J. W., Schnur, D. S. ve Childress, D. S., Estimation of pressure at the below-knee socket by finite element analysis, *Proc. Bioeng. Conf. (ASME-BED)*, 4, 39-43, 1987.
18. Steege, J. W., Schnur, D. S., Van Vorhis L. R. ve Rovick, J. S., Finite element analysis as a method of pressure estimation at the below-knee socket interface, *Proc. 10th Ann. RESNA Conf.*, 814-816, 1987.
19. Steege, J. W. ve Childress, D. S. Finite element estimation of pressure at the below-knee socket interface, *Report ISPO Workshop on CAD/CAM in Prosthetics and Orthotics*, 71-82, 1988.
20. Zhang, M., Lord, M., Turner-Smith A. R. ve Roberts, V. C., Development of a non-linear finite element modeling of the below-knee prosthetic socket interface, *Med. Eng. Phys.*, 17 (1995), 559-566.
21. Commean, P. K., Smith, K. E., Vannier, M. W., Szabo, B. A. ve Actis, R. L., Finite element modeling and experimental verification of lower extremity shape change under load, *J. Biomech.*, 30 (1997), 531-536.
22. Houston, V. L., Luo, G., Mason, C. P., Beattie, A. C., LaBlanc, K. P. ve Garbarini, M., Tissue biomechanical studies for prosthetic socket design, *Proc. Bioeng. Conf. (ASME-BED)*, 35, 245-246, 1997.
23. Fisher, C., Simpson, G. ve Reynolds, D., Development of a finite element model of a trans-tibial socket liner – an initial study, *Biomed. Sci. Instrum.*, 35 (1990), 39-44.
24. Zachariah S. G. ve Sanders, J. E., Pre-stresses due to trans-tibial socket donning: A nonlinear finite element analysis with contact, *Proc. 1st Joint BMES & EMBS Conf.*, 1, p. 648, 1999.
25. Vannah, W. M. ve Childress, D. S., Indentor tests and finite element modeling of bulk muscular tissue in vivo, *J. Rehabil. Res. Dev.*, 33 (1996), 239-252.
26. Silver-Thorn, M. B., In vivo indentation of lower extremity soft tissues, *IEEE Trans. Rehab. Eng.*, 7 (1999), 268-277.
27. Zheng, Y. P. ve Mak, A. F. T., Development of an ultrasound indentation system for biomechanical properties assessment of soft tissue in vivo, *Proc. 17th Ann. Conf. Eng. Med. Biol.*, 1599-1600, 1995.
28. Tönük, E. Diz Altı Ampute Kalıntı Bacaklarında Yumuşak Doku Mekanik Malzeme Özelliklerinin Deneysel Olarak Belirlenmesine Yönelik Çalışmalar, *Mühendis ve Makina* 43 (2002), 511, 43-49.
29. Graf, B. K., Vanderby, R., Ulm, M. J., Rogalski, R. P. ve Thielke, R. J., Effect of preconditioning on the viscoelastic response of primate patellar tendon, *Arthroscopy*, 10 (1994), 90-96.
30. Thornton, G. M., Oliynyk, A., Frank, C. B. ve Shrive, N. G., Ligament creep cannot be predicted from stress relaxation at low stress: A

- biomechanical study of the rabbit medial collateral ligament, *JBJS*, 15 (1997), 652-656.
31. Lakes, R. S. ve Vanderby, R., Interrelation of creep and relaxation: A modeling approach for ligaments, *J. Biomech. Eng.*, 121 (1999), 612-615.
32. Provenzo, P., Lakes, R., Keenan, T. ve Vanderby, R., Nonlinear Ligament Viscoelasticity, *Annals of Biomed. Eng.*, 29 (2001), 908-914.

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

<u>KONGRE ADI</u>	<u>TARİH</u>	<u>YAZISMA ADRESİ</u>
The 36 th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems Progress in Virtual Manufacturing Systems	03-05 Haziran 2003, Saarland University, Saarbrücken, Germany	Universitat des Saarlandes CIRP Program Committee Prof. Dr.-Ing. H. Bley Lehrstuhl für Fertigungstechnik/CAM Postfach 15 11 50 66041 Saarbrücken, Germany e-mail: cirp-isms2003@cam.uni-saarland.de Phone: +49-681 / 302-3210 Fax: +49-681 / 302-4372
Third International Conference on Acoustics 2003	16-18 Haziran 2003 Cadiz, Spain	Conference Secretariat, Acoustics 2003, Wessex Institute of Technology, Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton SO407AA, UK Tel: +44(0) 238 029 3223 e-mail: wit@wessex.ac.uk Internet: www.wessex.ac.uk
2 nd MIT Conference on Computational Fluid and Solid Mechanics	17-20 Haziran 2003 Massachusetts, USA	Professor K. J. Bathe, Massachusetts Institute of Technology, Room 3-356, 77 Massachusetts Avenue, Cambridge MA 01239, USA. Tel.: (617) 253 6645 e-mail: kjb@mit.edu . Web: www.secondmitconference.org
Coordinate Measuring Machines	25-26 Haziran 2003	Erika Deutsch-Layne 2003 Summer Topical Meeting American Society for Precision Engineering P.O. Box 10826, Raleigh, NC 27605-0826, USA, or Express Mail to: 301 Glenwood Avenue, Suite 205, Raleigh, NC 27603 USA Tel: (919) 839-8444 Fax: (919) 839-8039 e-mail: erika_layne@aspe.net
10 th International Conference on Pressure Vessel Technology	7 – 10 Temmuz, 2003 Vienna, Austria	Institute for Pressure Vessel & Plant Technology, Gusshausstr. 30/329, A-1040 Vienna, Austria. Fax: +43 15041588; e-mail: sekretariat+e329@tuwien.ac.at ; Website: http://info.tuwien.ac.at/IAA/
Tenth International Congress on Sound and Vibration	7-10 Temmuz 2003 Stockholm, Sweden	Congress Secretariat Congrex Sweden AB Attn: ICSV10 P.O. Box 5619 SE-114 86 Stockholm, Sweden Phone: +46 8 459 66 00 Fax: +46 8 661 91 25 e-mail: icsv10@congrex.se Web page: www.congrex.com/icsv10

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

Ti-2003
10th World Conference on
Titanium

13-18 Temmuz 2003
CCH-Congress Center
Hamburg, Germany

Dr. P.P. Schepp Ms. P. Von der Bey Ti-2003 Conference
Secretariat c/o Deutsche Gesellschaft für Materialkunde
Hamburger Allee 26 60486 Frankfur, Germany
Tel : (+49)69 7917 747
e-mail : ti-2003@dgm.de
Website: www.ti-2003.dgm.de

Computer, Communication and
Control Technologies: CCCT'03,

31 Temmuz – 2 Ağustos
2003,
Florida, USA

CIRP 2nd
International Conference on
Reconfigurable Manufacturing

20-21 Ağustos 2003
Ann Arbor, MI, USA

Ms. Tonya Marion
ERC/RMS, University of Michigan
2350 Hayward St.
Ann Arbor, MI, 48109-2125 USA
Tel: (734) 615-1798
Fax: (734) 763-5700
e-mail: rms2003@umich.edu
website: <http://erc.engin.umich.edu>

EUROMAT 2003
European Congress on Advanced
Materials and Processes

1-5 Eylül 2003
Lausanne, Switzerland

Euromat 2003 Congress Office
C/o Deutsche Gasellschaft for Materialkunde Hamburger allee 26
60486 Frankfurt Germany
Tel: +49-69-7917 747
Fax: +49-69-7917 733
e-mail euromat@fems.org
www.euromat2003.fems.org

30th Leeds-Lyon Symposium on
Tribology Transient Processes in
Tribology

2-5 Eylül 2003
Lyon, France

Gerard Dalmaz, Laboratoire de Mecanique des Contacts, UMR
CNRS INSA 5514, Batiment J. D' Alembert, INSA de Lyon, 20
avenue Albert Einstein, 69621 Villeurbanne cedex, France.
Tel: ++33(0)472438352
Fax: ++33(0)478890980
e-mail: lmc@insa-lyon.fr

2nd International Conference on
Tribology in Environmental
Design 2003

8-10 Eylül 2003
Bournemouth, UK

Dr. Y. Wang, Conference Coordinator, Bournemouth
University, Studland House, 12 Christchurch Road,
Bournemouth, Dorset, BHI 3 NA, UK.
Tel: 44(0)-1202-503759
Fax: 44(0)-1202-503751
e-mail: ed...infor@bournemouth.ac.uk
Website:
<http://www.sustainableengineering.org/ted2003.htm>

7th International Conference on
Mechanical and Physical
Behaviour of Materials Under
Dynamic Loading

8-12 Eylül 2003
Portugal

DYMAT 2003 Departamento de Engenharia Mecanica POLO 2-
Pinhal de Marrocos 3030 COIMBRA PORTUGL
e-mail : dymant2003@dem.eu.pt

9th International Conference on
Metrology and Properties of
Engineering Surfaces

10-11 Eylül Halmstad,
Sweden

Christel Sjunnesson, University of Halmstad, School of Business
& Engineering, Box 823, SE-301 18 Halmstad, Sweden.
Tel: +46 35167544
Fax: +46 35167564
e-mail: surfconf@set.hh.se

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

STLE/EMPA Conference –
“Smart surfaces in Tribology:
Advanced additives and
structured coatings”

10-12 Eylül
Zurich, Switzerland

Sigfried Roos:
e-mail : sigfried.roos@empa.ch

3rd International Conference
“Research & Development in
Mechanical Industry”

14-18 Eylül
Herceg Novi
(Montenegro Adriatic)

Professor Predrag Dasic, HTTS Kruseva, 37000 Krusevac,
Kosaniceva 36.
e-mail: dasicp@ptt.yu

ICEAW II – International
Conference on Erosive and
Abrasive Wear II

22-25 Eylül
Cambridge, UK

Nina Woods, ICEAW II Conference Secretariat, Elsevier
Science, The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford
OX5 1GB.
Tel: +44(0) 1865 843297
Fax: +44(0) 1865 843958
e-mail: n.woods@elsevier.com

International
Conference on Erosive
and Abrasive Wear II
ICEAW II (incorporating
ELSI X)

22-25 Eylül 2003
Churchill College,
Cambridge, UK

Nina Woods
ICEAW II Conference Secretariat
Elsevier Science
The Boulevard
Langford Lane Kidlington
Oxford, OX5 1 GB, UK
Tel : +44 (0) 1865 843297
Fax : +44 (0) 1865 843958
e-mail : n.woods@elsevier.com
website : www.iceaw.com

9th Seminar International
Federation for Heat Treatment
and Surface Engineering

23-25 Eylül
Warsaw, Poland

Institute of Precision Mechanics, Duchnicka 3, 01-796 Warsaw,
Poland.
Tel: (48-22) 663 43 35
Fax: (48-22) 663 43 17

National Conference on
Tribology
ROTRIB'03

24-26 Eylül
Galati, Romania

Professor Ion Crudu, University “Dunarea da Jos” of Galati,
Romania;
www.om.ugal.ro/rotrib'03;
e-mail : rotrib03@ugal.ro

MMSS'2003
3rd International Conference on
Machining and Measurement of
Sculptured Surfaces

24-26 Eylül 2003
Krakow, Poland

Dr.M. Zyburza-Skrabalak
MMSS'2000 Secretariat
The Institute of Metal Cutting,
Ul. Wroclawska 37a, 30-011 Krakow, Poland
Tel: (+48 12) 631 72 40
Fax: (+48 12) 633 94 90
e-mail: mzybura@ios.krakow.pl

ITC'038th International Tribology
Conference

October
Belgrade, Serbia

Yugoslav Tribology Society, Mechanical Engineering Faculty,
34000 Kragujevac, R. Serbia.
Tel: +38 163 8830 705, +381 11 337 0823
Fax: +381 34 333192
e-mail: ivkovic@nez.uis.kg.ac.yu
erac@alfa.mas.bg.ac.yu

ProSTEP iViP Science Days
2003

8-9 Ekim 2003
Dresden, Germany

ProSTEP iViP Verein Dolivostr. 11
D-64293 Darmstadt
Tel: +49 (6151) 9287 336
e-mail: psev@proststep.com

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

International Conference on
Accuracy in Forming Technology
ICAFT 2003

14-15 Ekim 2003
Chemnitz, Germany

Dr. Matthias Putz
Tel: +49 (0) 3 71/53 97-3 49
Fax: +49 (0) 3 71/53 97-1 23
e-mail: putz@iwu.fraunhofer.de
Internet: www.iwu.fraunhofer.de

World Tribology Congress 2005

15-16 Ekim 2005
Washington, DC, USA

Mr. Edward Selek, 840 Busse Highway Park Ridge, IL 60068-
2376, USA.
Tel. : +1 847 825 5536 ;
e-mail : esalk@stle.org ;
URL: <http://www.stle.org>

2003 STLE/ASME International
Joint Tribology Conference

26-29 Ekim
Florida, USA

Thierry A. Blanchet
e-mail : blanct@rpi.edu

VIRTUAL CONCEPT 2003

5,6,7 Kasım 2003
Biarritz – France

Technopole Izarbel
F-64210 BIDART
Tel : (+33) 5.59.43.84.00
Fax : (+33) 5.59.43.84.01
e-mail : virtualconcept@estia.fr
<http://www.virtualconcept.estia.fr>

A Symposium on Assembly
System: Design, Modeling and
Analysis for Quality and
Productivity
2003 ASME International
Mechanical Engineering Congress
and Exposition

16-21 Kasım 2003
Washington, DC

Dr. Darek Ceglarek
Department of Industrial Engineering
The University of Wisconsin-Madison
1513 University Avenue, Madison, WI 53706-1572, USA 266E
ME Building

Tel: (608) 265-3457
Fax : (608) 262-8454
e-mail: darek@engr.wisc.edu
<http://www.engr.wisc.edu/ie/faculty/ceglarek.darek.html>
<http://qsr.section.informs.org>

A Symposium on Advances in
Tooling and Work Holding
Systems 2003 ASME
International Mechanical
Engineering Congress and
Exposition

16-21 Kasım 2003
Washington, DC

Dr. Anil Srivastava
Manager, Research & Development TechSolve Inc.
1111 Edison Drive Cincinnati, OH 45216
Tel: (513) 948-2004
Fax: (513) 948-4022
e-mail: srivastav@techsolve.org

14th Int. Conference on Tribology
of Information Storage Devices

1-3 Aralık Monterey,
CA, USA

Sarah Wilkinson, TISD Conference Secretariat/elsevier science.
The Boulevard Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB.
Tel: +44(0)1865 843691
Fax: +44(0)1865 843958
e-mail: sm.wilkinson@elsevier.com
Web: www.TISD-2003.com

Fourth International Conference
on Tribology of Information
Storage Devices

1-3 Aralık 2003
Monterey, USA

e-mail : sm.wilkinson@elsevier.com
Web: <http://www.elsevier.com>

8th Conference on Mechanical
Design and Production (MDP-8)

4-6 Ocak 2004
Cairo, Egypt

MDP-8 Conference, Mech. Design and Prod. Dept. Faculty of
Engineering, Cairo University, Cairo-12316, Egypt.
Tel/Fax: (202) 5693025,
e-mail: info@mdp-conf.org & danaf@mdp-conf.org

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

14th International Collogium on
Tribology

13-15 Ocak 2004
Stuttgart/ostfildern,
Germany

Prof. Dr.-Ing. W.J. Bartz, Technische Akademic, Esslingen,
Postfach 12 65, D-72748, Ostfildern, Germany.
Tel: 711 3 40 08-12
Fax: 711 3 40 08-43
e-mail: Renate.Pfeidder@tae.de ; www.tribologie.org

International Tribology
Conference Kobe 2005

29 Mayıs 2 Haziran 2005
Japan

Professor Y. Kimura, Vice President, Kagawa University, 1-1
Saiwai-cho Takamatsu 760-8521. Japan.
Tel/Fax: +81(0) 87 832 1669
e-mail: ykimura@ao.kagawa-u.ac.jp

World Tribology Congress 2005

12-16 Eylül 2005
Washington, DC, USA

Mr. Edward Sele, 840 Busse Highway, Park Ridge, IL 60068-
2376, USA.
Tel: +847 825 5536
e-mail: esalk@stle.org
<http://www.stle.org>

YAYIN İLKELERİ

Amaç

1. Makina tasarım ve imalatı alanında yerli teknoloji üretimine yönelik kuramsal ve uygulamalı çalışmaları 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 geçirecek 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 orijinal 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/matin> sayfasından bulunabilir.

Yazarlar, yayınlanma 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

- Makaleleri, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.
- Makalenin adı
 - Yazar(lar) ad(lar), 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 Bağıntılar

Matematiksel bağıntılar, 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, "0" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağıntılar 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 orijinalleri 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, çeviriden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.

1. Örnek dip notu