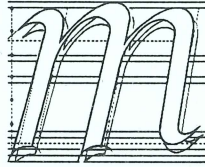


MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 3

Sayı : 4

Eylül 1998



matim

Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

O.D.T.Ü.

Günay ANLAŞ
Can ÇOĞUN
Haluk DARENDELİLER (Sorumlu Yayın Yönetmeni)
Zafer DURSUNKAYA
Levent PARNAS

Boğaziçi Ü.
Gazi Ü.
O.D.T.Ü.
O.D.T.Ü.
O.D.T.Ü.

Deniz AKÇALI
Metin AKKÖK
Mustafa AKKURT
Alpay ANKARA
M. A. Sahir ARIKAN
Tuna BALKAN
Sedat BAYSEÇ
Hakkı ESKİCİOĞLU
Hüseyin FİLİZ
Mustafa İ. GÖKLER
Erk İNGER
Ferruh ÖZTÜRK
Ömer SAATÇİOĞLU
O. Selçuk YAHŞİ
R. Orhan YILDIRIM

Çukurova Ü.
O.D.T.Ü.
İ.T.Ü.
O.D.T.Ü.
O.D.T.Ü.
O.D.T.Ü.
Gaziantep Ü.
O.D.T.Ü.
Gaziantep Ü.
O.D.T.Ü.
Roketsan Gn. Md.
Uludağ Ü.
O.D.T.Ü.
O.D.T.Ü.
O.D.T.Ü.

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
Makina Mühendisliği Bölümü, E Blok, No. 12
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

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

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 3 Sayı: 4 Eylül 1998

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 3 No: 4 September 1997

TELİF HAKKI

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

ABONE KOŞULLARI

Yıllık abone bedeli 1998 yılı içinde gerçek kişiler için 2.000.000 TL, firma ve kuruluşlar için 10.000.000 TL, öğrenciler için 1.000.000 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 Derneğimize göndererek saptanacak bir katkı karşılığında Dergide yayınlanmasını sağlayabilirler.

BANKA HESAP NUMARASI

T. İş Bankası ODTÜ Şubesi
Hesap No: 4229 30441 235339

DİZGİ

Gülseren AYDIN

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 ile 3 sayı yayınlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

- Silindirik Tornalamada Aynı Parçadaki Çap ve Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Deneysel İncelenmesi **143**
Can ÇOĞUN
Hüseyin YAKAR
- Katı Atık İşleme Tesisleri İçin Bilgisayar Destekli Döner Tambur Elek ve Konveyörü Tasarımı **154**
Bilgin KAFTANOĞLU
Okan ALKAN
- Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi **161**
Melih BAYRAMOĞLU
M. Merter ÇANKAYA
- Çelik Tel Halatlarda Tel Çapı ve Redüksiyon Oranının Yorulma Dayanımına Etkisi **167**
M. Nedim GERGER
Mustafa TAYANÇ
- Dönel Makina Parçalarının Eksenel Simetrik Unsurlarla Modellenmesi **174**
Suat ÇELİK
H. Rıza BÖRKLÜ
- KİTAPLAR** **184**
- YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER** **186**

Sayın Okurlarımız,

Yayın kurulumuz dergiye özgün çalışma ürünü, derleme veya bir bilgi ve tecrübe aktarımını sağlayacak makaleler bulmak konusunda yardımlarınızı beklemektedir. Bu sayımızda da ODTÜ Öğretim Elemanlarının makaleleri ağırlıklı olarak yer almıştır. Bunun en büyük nedeni diğer akademik kuruluşlar ve özellikle endüstrimizden yeteri kadar makalenin yayın kurulumuza gönderilmemiş olmasıdır.

Dergimizi, endüstri ve akademik kuruluşlarımızın karşılıklı bilgi alışverişinde bulunduğu, teknik sorunları tartıştığı ortak bir forum haline getirmek için siz meslektaşlarımızdan da katkı beklemekteyiz.

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Can Coğun
Profesör

Hüseyin Yakar
Yüksek Lisans Öğrencisi

Makina Mühendisliği Bölümü
Gazi Üniversitesi
Maltepe, 06570 ANKARA

Silindirik Tornalamada Aynı Parçadaki Çap ve Yüzey Pürüzlülüğü Değişiminin Deneysel İncelenmesi

Bu çalışmada, silindirik tornalama işleminde aynı parçada oluşan çap ve yüzey pürüzlülüğü farklılıkları deneysel olarak incelenmiştir. Farklı çaptaki silindirik çelik çubuklardan hazırlanan numuneler değişik ilerleme hızı ve paso derinliğinde puntalı ve puntasız işparçası bağlama koşulları için silindirik tornalanmıştır. Farklı çap ve işleme koşullarında işlenen her numunedeki çap farklılıkları (bu çalışmada çap sapması olarak anılacaktır) ve ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değişimleri incelenmiştir. Deneysel olarak işparçası çapının, ilerleme hızının, paso derinliğinin ve puntalı-puntasız iş bağlama yöntemlerinin çap sapmasında ve yüzey pürüzlülüğü değişiminde önemli etkenler olduğu gösterilmiştir.

GİRİŞ

Gerek dönel gerekse diğer şekillerdeki parçaların imalatında bir parçayı tam anma çapında veya boyutunda üretmeye çalışmak, gerek imalat teknolojisi açısından gerekse maliyet açısından uygun olmadığından çapın veya boyutun bir miktar sapsasına izin verilir. Bu sapma miktarı parçanın görevini yerine getirmesini sağlayacak ve karşılıklı çalışan parçaların işleyişini engellemeyecek seviyede olmalıdır [1]. Bu kabul edilebilir sapma miktarı "tolerans" olarak anılmaktadır.

Silindirik tornalanmış bir parçanın çapı değişik boylarda ölçüldüğünde değişik değerler ile karşılaşılabilir. Bu değişimin esas nedeni işparçası işlenirken özellikle radyal (kalem) ve esas kesme (teğetsel) kuvvetlerinden doğan işparçası ve takım tutucunun elastik deformasyonudur (sehim). Bu çalışmada, silindirik tornalanmış bir parça üzerindeki en büyük çap ölçümü (genelde ayna/punta bağlantısına en yakın ölçüm) ile herhangi bir yerde ölçülen çap arasındaki fark "çap sapması" olarak anılacaktır. Kaynaklarda işleme toleransını, dolayısıyla çap sapmasını, etkileyen ana faktörlerin aşağıdakiler olduğu görüşü paylaşılmaktadır [2-5]:

1. Takım tezgahlarının imalatından doğan geometrik kusurlar (takım tezgahı hassasiyeti),

2. Takım tezgahı kısımlarının (fener mili, ayna, punta, kalemlik, sport, kesici takım) kesme kuvvetleri nedeniyle elastik deformasyonu,
3. İş parçasının kesme kuvvetleri nedeniyle elastik deformasyonu (sehimi),
4. Kesici takım aşınması,
5. Tezgah parçalarında doğacak ısıl deformasyonlar,
6. Takım tezgahı ve işparçasında oluşan titreşim ve tartaklama (chattering).

Bu faktörlerden 2 ve 3 dışında belirtilenler doğru tezgah seçimi, doğru işleme parametreleri seçimi, kesme sıvısı kullanımı, takım aşınmasının kontrolü ile ihmal edilebilir seviyeye düşürülebilmektedir. Ancak kesme kuvvetleri nedeniyle oluşan elastik deformasyon ve onun oluşturduğu çap sapsmaları kaçınılmazdır. Aynı etkinin, takım-parça göreceli konumunu değiştireceği gerçeğinden gidilerek yüzey pürüzlülüğü ve kalitesini de etkileyeceği daha önceki çalışmalarda vurgulanmıştır [3-6].

Yukarıda, madde 2'de belirtilen kesme kuvveti (F_c) sebebiyle kesici takımda meydana gelen düşey düzlemdeki eğilme (sehim) (δ_t) aşağıdaki formülle verilir:

$$\delta_t = 4F_c L_t^3 / EBH^3 \quad (1)$$

Burada L_t takımın bağlanma uzunluğu, B ve H takım sapının kesit boyutları, E takım sapının elastiklik modülüdür.

Madde 3'te belirtilen işparçası sehminde radyal kesme kuvvetinin (F_r) etkili olduğu bilinmektedir. İşparçasının puntalar arasında işlendiği ve takımın parçanın tam ortasında bulunduğu durumda (en kritik durum) yatay düzlemdeki schim ($\delta_{i\delta}$)

$$\delta_i = 4F_r L_i^3 / 3E\pi D^4 \quad (2)$$

formülü ile hesaplanabilir. Burada $L_{i\delta}$ işparçası boyu, E ve D sırasıyla işparçasının elastiklik modülü ve çapıdır. Ayna-punta arası bağlama durumunda ve takımın parçanın tam ortasında bulunduğu durumda işparçası sehimi ($\delta_{i\delta}$)

$$\delta_i = 7F_r L_i^3 / 12E\pi D^4 \quad (3)$$

formülünden hesaplanabilir. Parçanın sadece aynaya bağlandığı ve takım parçanın ucunda bulunduğu en kritik durumda teorik schim ($\delta_{i\delta}$)

$$\delta_i = 64F_r L_i^3 / 3E\pi D^4 \quad (4)$$

formülünden hesaplanabilir [7]. 2-4 nolu eşitliklerden elde edilecek yatay düzlemdeki işparçası sehimi ($\delta_{i\delta}$) ile 1 nolu eşitlikte verilen düşey düzlemdeki takım sehimi (δ_t) vektöriyel olarak toplandığında yaklaşık bir işparçası deformasyonu ve bundan da çap sapması değeri elde edilebilir. Karamany ve Papai [4] puntalar arası tormalamada, işparçası sehiminin, dişli kutusu, araba, karşı punta ve kesici takımdan oluşan sistemin toplam deformasyonundan (schiminden) kaynaklandığını belirtmiş ve bu sehimin ana kuvvet olarak F_r 'den oluştuğunu vurgulamıştır. Çalışmada, dişli kutusundan takım ucuna kadar bir x uzaklığında teorik işparçası sehimi (δ_x)

$$\delta_x = F_r (G_a + ((L-x)/L)^2 G_{dk} + (x/L)^2 G_p + 1000(L-x)^2 x^2 / 3EIL) \quad (5)$$

bağıntısı ile verilmiştir. Burada G_a , G_{dk} ve G_p sırasıyla arabanın, dişli kutusunun ve puntanın elastikliği (compliance), L işparçasının boyu, I işparçasının atalet momentidir. Danai ve Ulsoy [8] tolerans analizi ile ilgili çalışmalarında, oluşan sapmaları hem işparçası sehimlerine hem de kesici uçtaki aşımalara bağlamışlar ve toplam sapmanın bu iki değer toplamı olacağını belirtmişlerdir. Puntasız silindirik tormalama

işleminde işparçasının uç noktasındaki sehimi ($\delta_{i\delta}$) aşağıdaki bağıntı ile vermişlerdir:

$$\delta_i = (F_r / 3E) (L^3 / I + (L^3 - L_1^3) / I_1) \quad (6)$$

$$I = \pi D^4 / 64 \quad (7)$$

$$I_1 = \pi D_1^4 / 64 \quad (8)$$

Burada I ve I_1 işleme öncesi ve sonrası işparçasının atalet momentleri, D işparçası çapı, D_1 paso alındıktan sonraki çap, L parçanın aynadan çıkan boyu, L_1 tormalanan boydur. Danai ve Ulsoy çalışmalarında F_r değerini empirik formüllerden hesaplayarak bulmuş ve eşitlikte yerine koymuştur.

Yukarıda verilen tüm eşitliklerde radyal kesme kuvveti F_r , işparçasının kesici uç ile temas ettiği yerdeki işparçası rijitliğine bağımlı olup değişimler gösterir. Yine eşitliklerde kalem tutucu, kullanılan araba, punta, dişli kutusu elastiklikleri sadece yaklaşık değerler olarak yerine konulabilir. Eşitliklerin basit görünümüne karşın gerçek imalat koşullarında schim hesaplamasında kullanılmaları oldukça zor ve sonuçlar güvenilir olmaktan uzaktır. Bu nedenlerle bu çalışmada, değişik numune çapı, ilerleme hızı, paso derinliği ve puntalı-puntasız iş bağlama koşullarında silindirik tormalama için çap sapmaları ve yüzey pürüzlülüğü değişimi sadece deneysel olarak incelenmiştir. Tormalanan parçalarda yüzey pürüzlülüğünü etkileyen esas faktörlerden ikisinin takım geometrisi (özellikle kalem uç yarıçapı) ve ilerleme hızı olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada, yüzey pürüzlülüğünde etkili olan kalem uç yarıçapı ve kalem şekli standart bir kalem (plaket uç) kullanılarak inceleme dışı bırakılmış ve daha çok yüzey pürüzlülüğünün işparçası sehimi neticesinde görülen çap sapmalarından etkilenişi ele alınmıştır.

DENEYLER

Numuneler

Dency malzemesi olarak MKEK üretimi 30 mm, 24 mm ve 20 mm çaplarında Ç1040 (% 0.44 C, % 0.90 Mn, % 0.30 Si, % 0.040 P ve % 0.05 S) çelik çubuklar kullanılmıştır. Çubuklardan 80 mm boyunda ve her çap grubu için 24 adet olmak üzere toplam 72 adet numune hidrolik testere ile kesilerek hazırlanmıştır. Tüm numunelerin birer alınları tormalanmıştır.

Kesici Takım

Uç yarıçapı 1.2 mm olan TNMG (ISO) 160408 A155 talaş kırıcı tungsten karbür yeni plaket uçlar kullanılmıştır. Kesici takım açılımları PSBNR2525 (-5, -5, +5, +5, 15, 15)'e göre olup standart katere monte

edilerek kullanılmıştır. Kesme sıvısı olarak bor yağı kullanılmıştır.

Tezgah

Torna tezgahı olarak Gazi Üniversitesi, Makina Mühendisliği Bölümü Takım Tezgahları Laboratuvarında bulunan TEZSAN marka MAS165 modeli universal torna tezgahı kullanılmıştır.

Ölçüm Cihazları

Çap ölçümleri 0.01 mm hassasiyetindeki Mitutoya mikrometre ile, yüzey pürüzlülüğü ölçümleri ise virgülden sonra üçüncü haneye (μm cinsinden) kadar okuyabilen dijital Mitutoya Surf Test-B modeli ile yapılmıştır. Bu çalışmada yüzey pürüzlülüğü analizinde sadece Ra (ortalama yüzey pürüzlülüğü) değerleri kullanılmıştır. Paso derinlik ayarının eyidi için 0.01 mm hassasiyetinde komparatör kullanılmıştır.

Deneylerin Yapılışı

80 mm boyundaki 30 mm, 24 mm ve 20 mm çapındaki her grup numune 125 m/dak sabit kesme hızında ve 0.064 mm/dev, 0.107 mm/dev ve 0.150 mm/dev ilerleme hızlarında silindirik tormalanmıştır. Her ilerleme değeri için 0.3 mm, 0.6 mm, 0.9 mm ve 1.2 mm paso (derinliği) değerleri kullanılmıştır. Bu işleme parametreleri kullanılarak deneyler puntalı ve puntasız olarak yapılmıştır. Gerek puntalı gerekse puntasız iş bağlamada parçanın bir tarafı üç ayaklı aynaya bağlanmıştır.

Puntalı ve puntasız numuneler 17 mm'lik boyu tezgah aynasında kalacak şekilde tezgaha bağlanmış, kalan 63 mm'lik boyun 60 mm'si yukarıda bahsedilen işleme parametreleri kullanılarak tormalanmıştır. Puntalı bağlanacak numunelerin tormalanmış alın yüzlerine punta yuvası açılmıştır. Deneylerde kesici takım aşınmasının etkisini ortadan kaldırmak için kesici uç her 4 numunenin işlenmesinden sonra yenisiyle değiştirilmiştir. Paso derinlikleri ibrelı komparatörün probu (iğnesi) tezgah sportuna dayanarak ayarlanmıştır. Silindirik tormalanan numunelerin çap ölçümleri mikrometre ile numunenin serbest (veya punta yuvalı) ucundan sırasıyla 5 mm, 20 mm, 40 mm ve 55 mm mesafelerde yapılmıştır. Kalemin dengeli kesme rejimine ilk 5 mm'den sonra girdiği ön deneylerden tespit edildiği için işlemenin başladığı 0 mm mesafesi yerine 5 mm ölçüm mesafesi tercih edilmiştir. 0 mm, 20 mm, 40 mm ve 60 mm ölçüm dizisini bozan 55 mm değerinin seçim sebebi ise 60 mm'de ayna ayaklarının parçada oluşturabileceği elastik deformasyonu çap ölçümlerinde gözardı edebilmektir. Her mesafede alınan ölçüm parça çevrilerek üç defa tekrarlanmış ve bu üç ölçümün ortalaması alınmıştır. Yüzey pürüzlülüğü ölçümleri de yine aynı mesafelerde ve üçer defa tekrar edilerek yapılmıştır. Şekil 1-6'da işaretlenen her ölçüm değeri bu üç değer ortalamasıdır.

55 mm boyda yapılan çap ölçümünde, işparçası

schiminin ihmal edilebileceği kabul edilmiş (ayna ayaklarından 8 mm uzaklıkta) ve bu varsayımın doğruluğu ölçümlerle teyit edilmiştir. Çap sapması değerleri, elde edilen bu ölçümden diğer çap ölçümlerinin çıkarılmasıyla elde edilmiştir. Çap sapmasının değişimleri Şekil 1-3'te, yüzey pürüzlülüğünün değişimleri ise Şekil 4-6'da sunulmuştur.

DENEYSSEL BULGULAR

Çap Sapmasının Değişimi

Şekil 1-3'te 55 mm'deki ölçüm referansına göre 30 mm, 24 mm, 20 mm numune çapları (d), 0.064 mm/dev, 0.107 mm/dev ve 0.150 mm/dev ilerleme hızları (f) ve 0.3 mm, 0.6 mm, 0.9 mm ve 1.2 mm paso derinliği (h) için çap sapmaları görülmektedir. Şekillerde aynı koşullar için puntasız işleme çap sapmaları sürekli, puntalı işleme çap sapmaları kesik çizgilerle belirtilmiştir.

Bu çalışmada puntalı ve puntasız bağlama için deneysel çap sapması değişimleri üssel fonksiyon (power function) kullanılarak regresyon analizi ile modellenmiştir. Kullanılan model fonksiyon ve regresyon analizi sonucu elde edilen katsayılar aşağıda verilmiştir:

$$\text{Çap sapması} = b_0 h^{b_1} f^{b_2} d^{b_3} \quad (9)$$

$$\text{Puntalı} : b_0 = 0.0033821, b_1 = 0.019630, \\ b_2 = 0.119536, b_3 = 0.001393, R = 0.992$$

$$\text{Puntasız} : b_0 = 0.0310490, b_1 = 0.005556, \\ b_2 = 0.010929, b_3 = 0.001261, R = 0.995$$

Burada b_0 , b_1 , b_2 ve b_3 güç fonksiyonunun regresyon analiz katsayıları, R ise regresyon korelasyon katsayısıdır. Puntalı ve puntasız bağlama için elde edilen yüksek R değerleri bu çalışmada kabul edilen güç fonksiyonu modelinin isabelli bir varsayım olduğunu ve deneysel çap sapması değişimlerini oldukça iyi modelleyebileceğini göstermektedir. Elde edilen bu bağıntılar (eşitlik 9) CNC denetimli bir torna tezgahında optimum yüzey pürüzlülüğü ve çap sapması değerlerini verecek işleme koşullarını bulan ve bu koşullara göre NC parça programı yaratan bir yazılımın bünyesinde kullanılmıştır [8].

Puntalı işlemede 30 mm numune çapı için farklı ilerleme hızı ve paso derinliklerinde çap sapmaları ihmal edilebilecek seviyededir (Şekil 1). 24 mm çaplı numunelerde 1.2 mm paso derinliğinde 40 mm ölçüm boyunda bile (her üç ilerleme hızı için) çap sapmaları görülmektedir (Şekil 2). Küçük çaplı (20 mm) numuneler için tüm ilerleme hızı ve paso derinliği koşullarında çap sapmaları barizdir. Bu sonuçlar büyük çaptaki numunelerin yüksek rijitliğinin parça sehimine engel olduğu varsayımını desteklemektedir. Paso derinliği artışı özellikle küçük çaplı (20 mm ve 24 mm

çap) numunelerde çap sapmasını artırmaktadır. Çap sapmaları tüm numuneler için punta/ayna bağlantılarında sıfır, 20 mm ve 40 mm ölçüm noktalarında ise maksimum değere ulaşmaktadır. Maksimum çap sapması 24 mm'lik numunelerde 0.01 mm değerlerinde iken 20 mm'lik numunelerde 0.02 mm'ye ulaşmaktadır.

Puntasız numunelerde parçanın serbest ucu (5 mm ölçüm noktası) belirgin çap sapması göstermektedir. Boya göre çap sapması karakteristikleri beklenen schim karakteristiği ile uyumlu olarak tüm numunelerde eğrisel bir karakteristiktir (Şekil 1-3). 20 mm çaplı numunelerde ilerleme hızı ve paso derinliği artışı çap sapmasını tüm ölçüm noktalarında artırmaktadır (Şekil 3). 40 mm'lik ölçüm noktaları aynaya oldukça yakın olduğundan çoğu durumda bu noktalarda çap sapması görülmemekte veya ihmal edilecek seviyededir. Tüm numunelerde artan paso derinliği için özellikle serbest uç ve 20 mm ölçüm boylarında çap sapması belirgindir. 30 mm'lik numuneler için çap sapmaları serbest uçta 0.01 mm seviyesinde iken, 24 mm'lik numunelerde 0.02-0.03 mm'ye ulaşmakta, 20 mm'lik küçük çaplı numunelerde ise 0.03-0.04 mm'ye yükselmektedir. Tüm numunelerde yüksek ilerleme ve paso derinliğinin birarada bulunduğu şartlarda en yüksek çap sapmaları görülmektedir. Şekil 1-3'ten anlaşılacağı gibi küçük numune çaplarında çap sapmaları büyük çaplara göre daha fazla olup, artan ilerleme hızı ve paso derinliği çap sapmasını artırmaktadır.

Yüzey Pürüzlülüğünün Değişimi

Şekil 4-6'da sırasıyla 30 mm, 24 mm ve 20 mm numune çapları için 0.064 mm/dev, 0.107 mm/dev ve 0.150 mm/dev ilerleme hızları ve 0.3 mm, 0.6 mm, 0.9 mm ve 1.2 mm paso derinlikleri için 5 mm, 20 mm, 40 mm ve 55 mm ölçüm noktalarındaki yüzey pürüzlülük değerleri (Ra) görülmektedir.

Şekil 4-6'dan puntalı bağlamada elde edilen yüzey pürüzlülüklerinin tüm koşullarda puntasız bağlamadan daha iyi (küçük) olduğu açıkça gözlenebilmektedir. Şekil 4 ve 5'te 30 mm ve 24 mm numune çaplarında yüzey pürüzlülük değerleri tormalanan boyda değişim göstermemektedir. Şekil 6'da küçük çaplı numunelerde (20 mm çap) puntasız bağlama koşullarında çap sapmasının artışı ile yüzey pürüzlülüğü değerinin de arttığı görülmektedir. Yine aynı şekillerde puntalı bağlamada orta ölçüm noktalarında (20 mm ve 40 mm'de) yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. Şekil 4-6'da, puntalı bağlamada genelde tüm ilerleme değerleri için, artan paso derinliğinin yüzey pürüzlülüğünü iyileştirdiği görülmektedir. Tüm işleme koşullarında 0.3 mm paso derinliğinde en kötü yüzey pürüzlülüğü elde edilmekte, 0.9 ve 1.2 mm paso derinliklerinde ise farkedilir değişimler görülmemektedir. Bu da 0.9 mm ve 1.2 mm arası paso derinliklerinin belirtilen numune ve işleme şartlarında en iyi pürüzlülük değerlerini verecek paso değerleri olduğunu göstermektedir. Şekil 4 ve 5'te büyük çaplı

numuneler için gerek puntalı gerekse puntasız işleme koşullarında pürüzlülük değerleri genelde 0.5 - 1.5 μm (Ra) arasında iken, bu değerler küçük çaplı numuneler için (20 mm çap) 1-2 μm 'ye yükselmekte, hatta bazı şartlarda 2.5-3 μm 'ye ulaşabilmektedir.

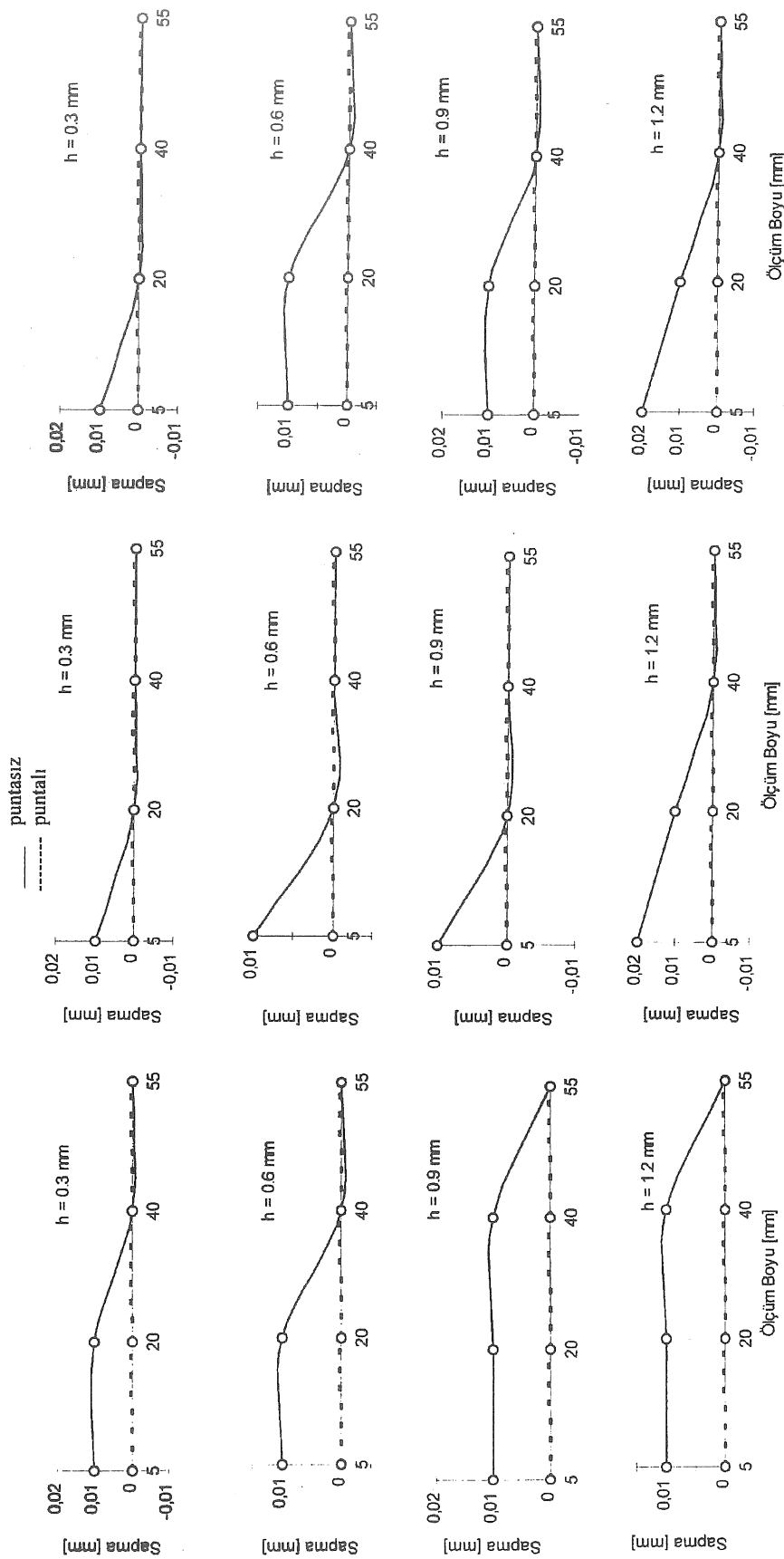
SONUÇ

Bu çalışmada, 30 mm, 24 mm ve 20 mm çaplı çelik iş parçaları (numuneler) değişik ilerleme hızlarında, paso derinliklerinde ve puntalı-puntasız parça bağlama koşullarında silindirik tormalanmış ve belirli boylardaki çap sapmaları ve yüzey pürüzlülükleri tespit edilmiştir.

Deneysel olarak elde edilen çap sapma grafiklerinden, puntalı bağlanan büyük çaplı numunelerde çap sapmasının ihmal edilir seviyede olduğu, küçük çaplılarda ise özellikle aynadan uzak olan ölçüm noktasında (20 mm ölçüm noktası) çap sapmasının yüksek olduğu gözlenmiştir. Puntasız bağlamada aynaya yakın ölçüm noktası referans alınarak bulunan çap sapmalarında tüm çap ve işleme koşullarında serbest uçlarda maksimum sapma görülmekte ve artan paso derinliği belirgin olarak çap sapmalarını artırmaktadır. Bu sonuç artan radyal kesme kuvvetinin parça schimini artırdığı gerçeği ile açıklanabilir. Küçük çaplı numunelerde ilerleme hızının da çap sapmasını artırdığı tespit edilmiştir.

30 mm ve 24 mm'lik büyük çaplı numunelerde gerek puntalı gerekse puntasız işlemede yüzey pürüzlülüğü parça boyuna göre belirgin bir değişim göstermemektedir. Yine de puntasız bağlama koşullarında elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri puntalı bağlamaya göre daha yüksektir. Küçük numunelerde puntasız bağlamada serbest uca yakın ölçüm noktalarında yüzey pürüzlülüğü aynaya yakın noktalara nazaran daha kötüdür. Yani çap sapmalarında gözlenen artış aynı noktalarda yüzey pürüzlülüğünü de olumsuz yönde etkilemektedir. Yine küçük çaplı numunelerde (20 mm çap) puntalı bağlamada görülen punta merkezi ve aynadan uzak noktadaki artan çap sapması yüzey pürüzlülüğünü de aynı bölgelerde bozmaktadır.

Deneysel sonuçlardan, uygun ilerleme ve paso derinliği seçildiğinde kesme kuvvetinin kontrol edilebileceği ve bunun da parçada schimden dolayı meydana gelebilecek çap sapmalarını istenen sınırlarda tutabileceği anlaşılmıştır. Çalışma, küçük çaplılarda tormalama esnasında parça schiminden oluşacak çap sapmalarının en aza indirilmesinde puntalı tormalamanın önemini ortaya çıkarmaktadır. Puntalı bağlanmış küçük çaplı veya uzun parçalarda orta noktalardaki çap sapmasını azaltabilmek için paso derinliği ve ilerleme düşük seçilmelidir. Deneysel sonuçlar yüzey pürüzlülüğünün artan çap sapmasından olumsuz yönde etkilendiğini göstermiştir. Bu nedenle çap sapmasını en aza indirecek tedbir ve ayarlar iyi bir yüzey pürüzlülüğü için de gereklidir.

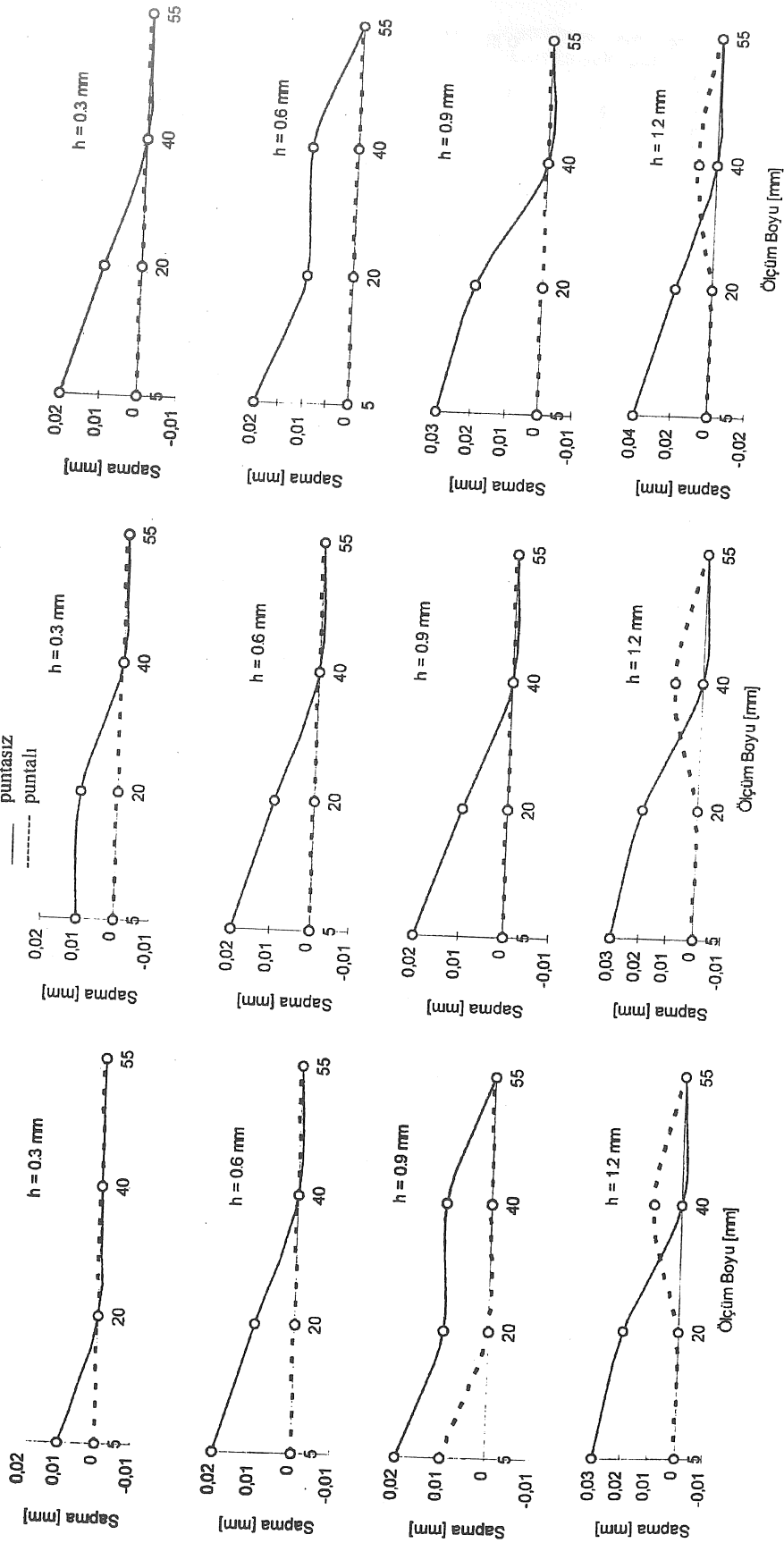


(a) $f=0.064$ mm/dev

(b) $f=0.107$ mm/dev

(c) $f=0.150$ mm/dev

Şekil 1. 30 mm numune çapı için çap sapmasının işleme parametreleri ve puntalı-puntasız bağlamaya göre değişimi

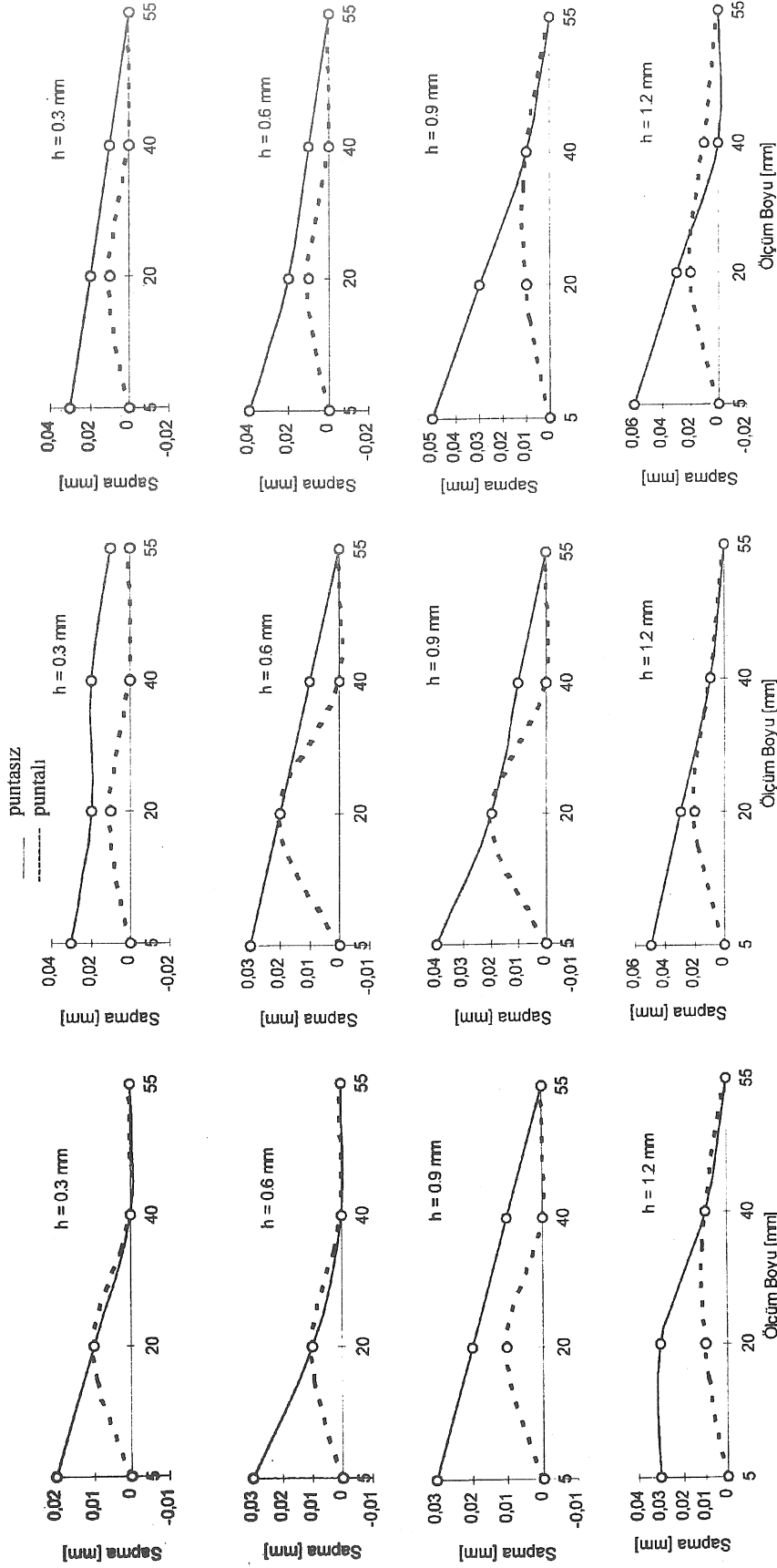


(a) $f=0.064$ mm/dev

(b) $f=0.107$ mm/dev

(c) $f=0.150$ mm/dev

Şekil 2. 24 mm numune çapı için çap sapmasının işleme parametreleri ve puntalı-puntasız bağlamaya göre değişimi

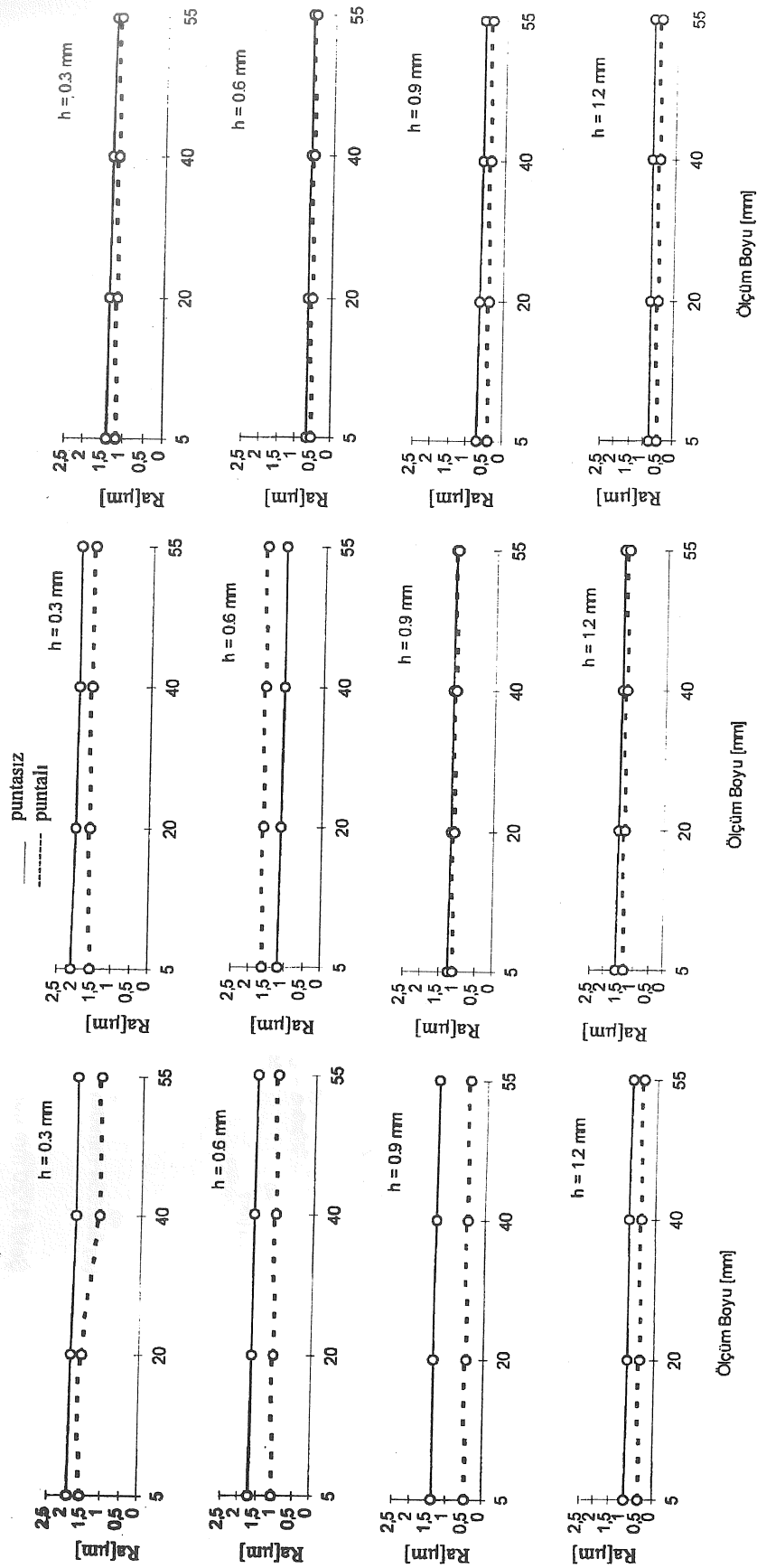


(a) $f=0.064$ mm/dev

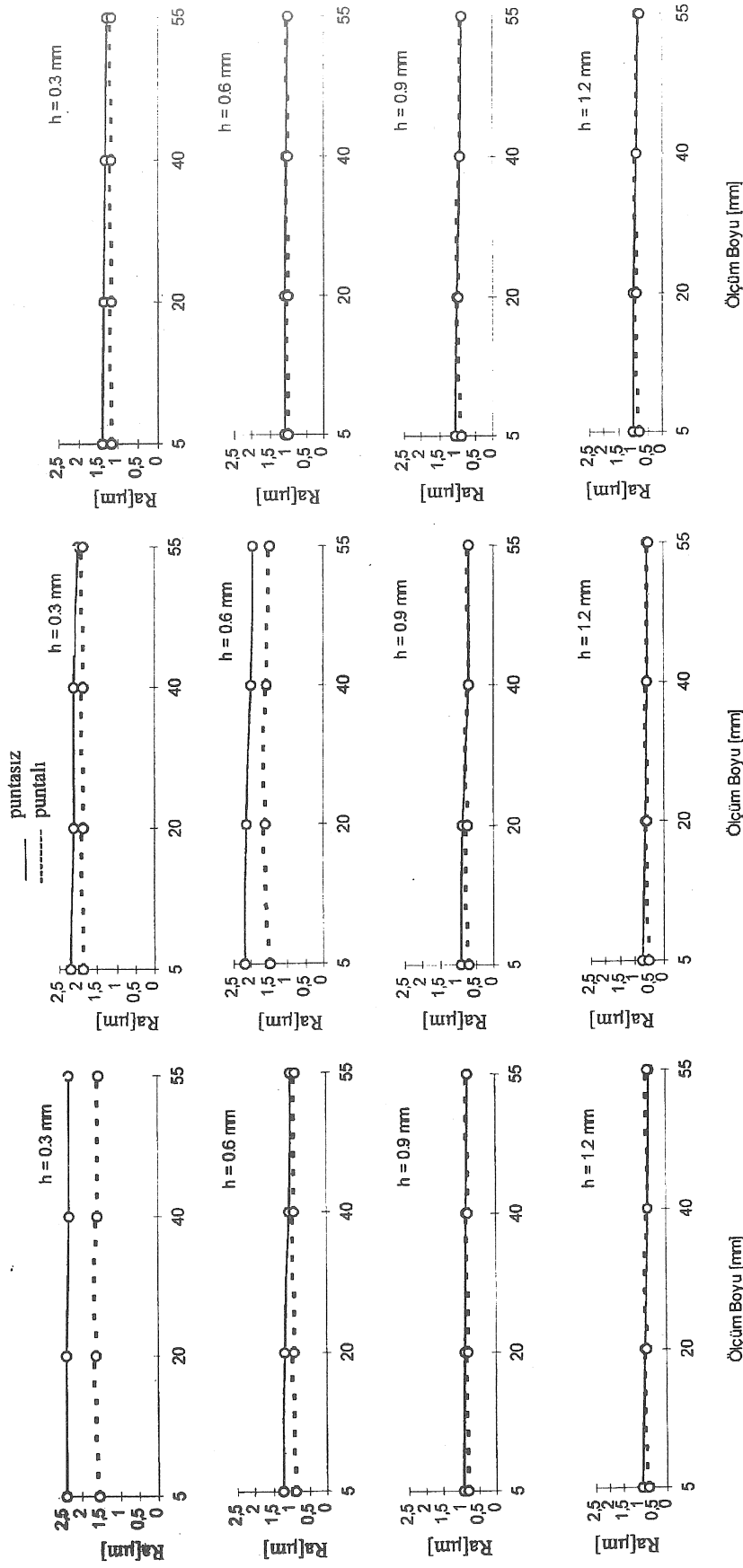
(b) $f=0.107$ mm/dev

(c) $f=0.150$ mm/dev

Şekil 3. 20 mm numune çapı için çap sapmasının işleme parametreleri ve puntalı-puntasız bağlamaya göre değişimi

(a) $f=0.064$ mm/dev(b) $f=0.107$ mm/dev(c) $f=0.150$ mm/dev

Şekil 4. 30 mm numune çapı için yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri ve puntalı-puntasız bağlamaya göre değişimi

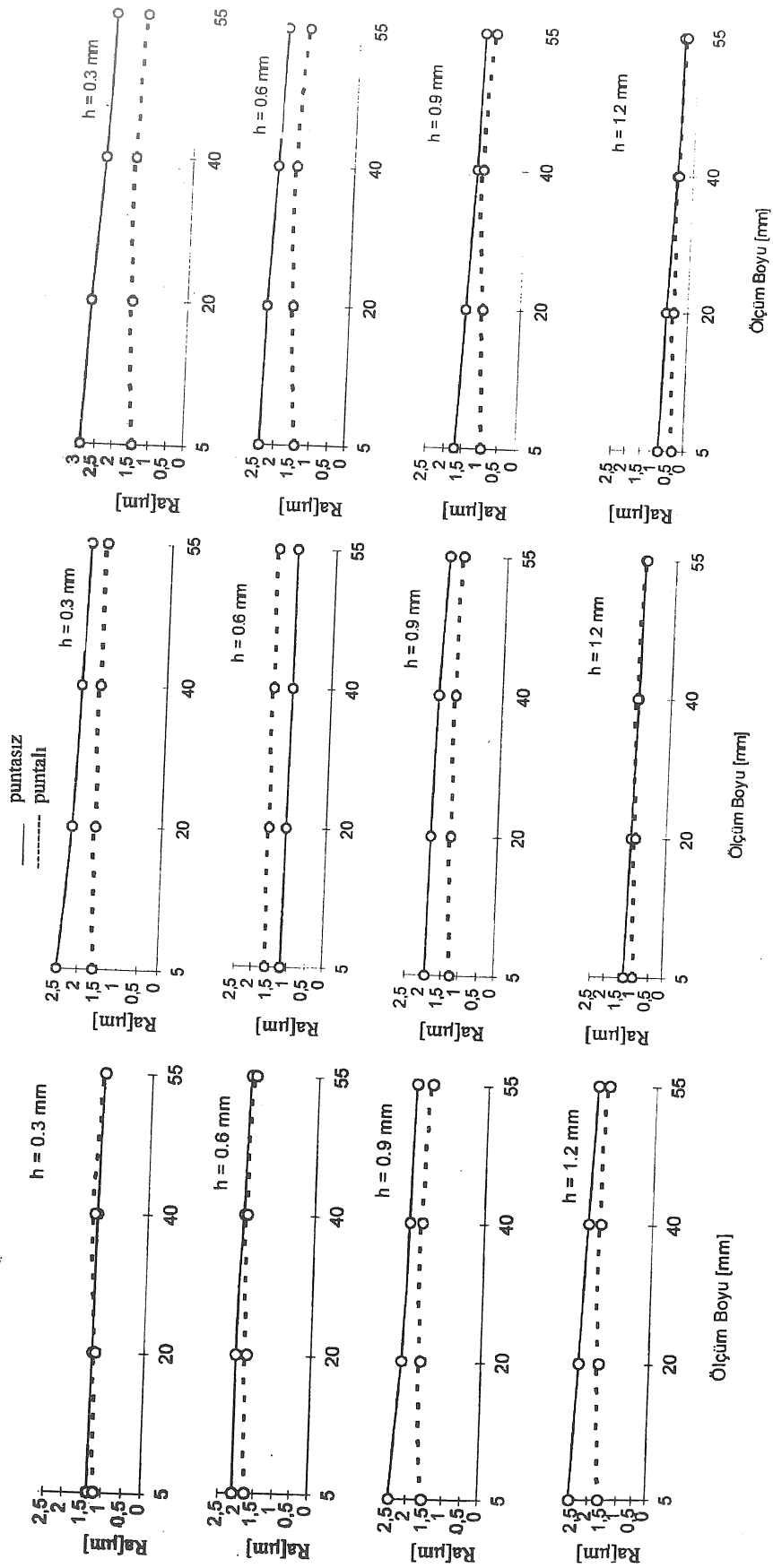


(a) f=0.064 mm/dev

(b) f=0.107 mm/dev

(c) f=0.150 mm/dev

Şekil 5. 24 mm numune çapı için yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri ve puntalı-puntasız bağlamaya göre değişimi



(a) $f=0.064$ mm/dev

(b) $f=0.107$ mm/dev

(c) $f=0.150$ mm/dev

Şekil 6. 20 mm numune çapı için yüzey pürüzlülüğünün işleme parametreleri ve puntalı-puntasız bağlamaya göre değişimi

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON DIAMETER AND SURFACE ROUGHNESS VARIATIONS ON THE SAME WORKPART IN CYLINDRICAL TURNING

In this study, the diameter and surface roughness variations on the same straight turned workpart are investigated. Steel specimens with different diameters are straight turned at different feed rate and depth of cut settings for between centers and one end free mounting techniques. The diameter differences (in this study it will be called as "diameter deviations") and average surface roughness (Ra) variations are investigated for every turned specimens which are prepared at different diameters and machined under different conditions. It is found experimentally that the workpart diameter, feed rate, depth of cut and work holding techniques (between centers and one end free) are the important factors effective in diameter deviations and surface roughness variations.

KAYNAKÇA

1. Martin, D.L., Tabenkin, A.N. ve Parsons, F.G., Precision Spindle and Bearing Error Analysis, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 35 (1995), 187-193.
2. Grive, D.J., Kaliszzer, H. ve Rowe, G.W., The Effects of Cutting Conditions on Bearing Area Parameters, *Proc. 9th Int. Machine Tool Des. and Res. Conf.*, 989-1004, İngiltere, 1968.
3. El-Karamany, Y. ve Papai, F., Determination of Turning Machine Performance by Nonlinear Programming, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 18 (1978), 181-187.
4. El-Karamany, Y., Turning Long Workpieces by Changing the Machining Parameters, *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, 24 (1984), 1-10.
5. Karabay, M., Yavuz, M., CNC'li Tornalamada, Yüzey Pürüzlülüğü Bağlıları için Bir Çalışma, 5. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi, 163-169, ODTÜ, Ankara, 1992.
6. Lambert, B.K. ve Taraman, K., "A Surface Roughness Model for a Turning Operation, *Int. J. Prod. Research*, 12 (1966), 991-703.
7. Grec, J.M. ve Timoshenko, S.P., *Mechanics of Materials*, Chapman and Hall Comp., New York, 1991.
8. Danai, K. ve Ulsoy, A.G., A Dynamic State Model for On-Line Tool Wear Estimation in Turning, *Trans. ASME*, 109 (1987).
9. Yakar, H., *Boxford 160TCL CNC Torna Tezgahı için Parça Programı Hazırlayan Bir Yazılımın Geliştirilmesi ve Denenmesi*, Y. Lisans Tezi, FBE, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1996.

Bilgin Kaftanoğlu
Profesör

Okan Alkan
Araştırma Görevlisi

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

Katı Atık İşleme Tesisleri için Bilgisayar Destekli Döner Tambur Elek ve Konveyörü Tasarımı

Bu çalışmada mevcut katı atık sistemleri incelenmiştir. Bunun sonucu olarak, kompostlama tesislerinde kullanılmak üzere döner tambur elek ve konveyör tasarımı yapılmıştır. Bu işlemlerin bir bilgisayar programı ile yapılması sağlanmıştır. Programa eklenen benzetim modülü aracılığıyla elde edilen değerler grafiklerle sunulmuş ve sistem karakteristiği hakkında bilgiler üretilmiştir. Bu değerlerin önceki bulgularla karşılaştırılması da yapılmıştır.

GİRİŞ

Katı atıklar tarihinin ilk çağlarından itibaren insanların ürettikleri çöplerin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. O zamanlar kullanılabilir alanların çokluğu sayesinde çok fazla sorun olmayan katı atıkların ortadan kaldırılması, çağımızda başlı başına bir teknoloji haline gelmiştir. Mevcut katı atık yok etme metodları, arazi doldurma, yakma, kompostlama ve diğer metodları kapsamaktadır [1]. Şu an için katı atıkların arazi doldurarak ortadan kaldırılması en çok kullanılan metoddur. Ancak katı atıkların hiç bir ön elemeye tabi tutulmadan gömülmesi katı atıklardan elde edilebilecek çok kıymetli yan ürünlerinde toprağa gömülmesini ortaya çıkarmaktadır. Bu anlayışla, dünyanın pek çok ülkesinde çöplerin geri kazanımına önem verilmekte ve pek çok çalışmalar yapılmaktadır. Katı atıklar, geri kazanım tesislerinde ön elemeye tabi tutulmakta, kağıt, plastik, cam, metaller ayrıştırılarak yeniden kullanılabilir hale getirilmektedir. Nem oranı bakımından düşük olan çöplerin ise yakılarak değerlendirilmesi yoluna gidilmektedir. Yakılan çöplerden elde edilen enerji ısıtma sistemlerinde kullanılmaktadır. Türkiye gibi nem oranı yüksek olan çöplerde ise geri kazanım sonrasında kalan organik maddelerden kompostlama metoduyla gübre yapılması metodu uygulanmaktadır. Yapay gübrelerin yan etkileri ve pahalı oluşları gözönüne alındığında katı atıklardan elde edilen ve tamamen doğal olan bu gübrenin toprağın

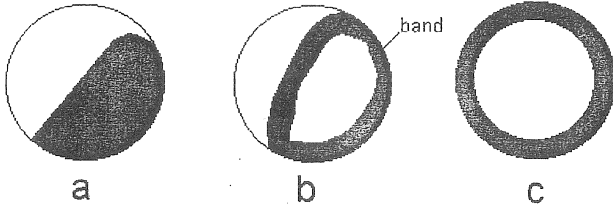
ihtiyacı olan organik madde katkısını sağlayarak, ülke ekonomisine ve insan sağlığına olan katkısı azımsanmamalıdır.

Katı atık işleme tesislerinde ilk önce yapılan işlem çöplerin tasnifidir. Bu işlem için çok farklı mekanik ayırma metodları kullanılmaktadır. Bunlar, eleme, manyetik ayırma, eddy akımı ile ayırma, hava ile ayırma, balistik ayırma metodları olarak basitçe sıralanabilir. Ancak, büyük işleme tesislerinde ilk uygulanan ayırma tekniği döner tambur eleklerle ayırmadır. Döner tambur elekler maden ve mineral endüstrisinde, çimento ve kimya sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, tambur eleklerin uygun işletme parametrelerinde çalıştırılabilmesi için içindeki malzemenin karakteristiğinin bilinmesi gerekmektedir. Bu sebeple, her malzeme için geçerli olan genel bir tambur elek işletme parametreleri yoktur. Bu çalışmada kompostlama sistemlerinde, gelen çöp içindeki organik maddelerin parça büyüklüğüne göre tasnifinde kullanılacak bir döner tambur elek tasarımı bilgisayar programı haline getirilmiştir. Buna göre kompostlama tesisi kapasitesine göre, tambur çapı, tambur boyu, tambur eğimi, açısız hızı, malzeme dinamiği gibi parametreler hesaplanmıştır.

MATEMATİK MODELLEME

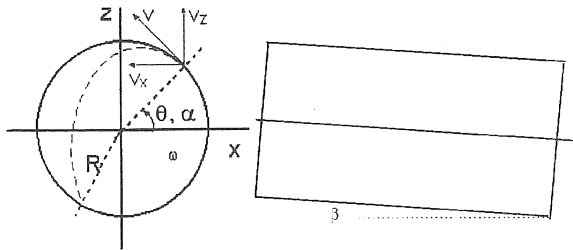
Döner tambur eleklerin yaygın kullanımı sebebiyle, bu tür eleklerin matematik modellemesi üzerine çok

çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Ancak, katı atık işlemlerine uygun yaklaşımlar gösteren kaynaklar incelenmeye değerdir [2,3,4,5]. Döner elek içindeki malzeme, tamburun açısız hızına göre değişik hareket tarzları almaktadır. Bu tarzlar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. (a) Kiln hareketi, (b) Şelaleme etkisi, (c) Merkezkaç etkisi

Hızın düşük olduğu ve doluluk oranının fazla olduğu durumda malzeme birbiri üzerine yığılır ve "kiln hareketi" olarak tanımlanan bir hareket şekli gözlemlenir. Kiln hareketinde malzeme düşük açısız hızla sahip olduğundan merkezkaç kuvvetiyle tambur duvarından ayrılamaz ve birbiri üzerine yığılır. Bu durumda eleme işlemi çok düşüktür. Doluluk oranı az olan tamburlarda ve açısız hızın yüksek olduğu durumda, malzeme belli bir yüksekliğe çıkar ve bu noktadan itibaren eğik atış eğrisini takip eder. Elek sınırları içinde yüzeye çarparak eleme işlemi gerçekleşir. Bu işlem şelaleme olarak adlandırılır. Şelaleme etkisi, katı atık işlemede yüksek eleme oranı nedeniyle tercih edilen bir metoddur. Çok yüksek hızlarda ise malzeme merkezkaç etkisiyle tambur duvarına yapışır ve eleme işlemini güçleştirir. Bu nedenle tercih edilmez. Şekil 2'de hesaplamalarda kullanılan referans sistemi gösterilmiştir.



Şekil 2. Referans sistemi

Alınan referans sisteminde şelaleme etkisine göre malzemenin tambur yüzeyinden ayrılma anındaki anlık hızı

$$\omega R \cos \alpha = \dot{z}_0$$

$$\omega R \sin \alpha = \dot{x}_0$$

olarak ifade edilebilir. β eğim açısına etkiyen ağırlık ise,

$$F_g = mg \cos \theta$$

olarak ifade edilir. β açısı malzemenin eksene doğru aşağıya doğru ilerlemesini sağlayan tamburun eğim açısıdır. Malzeme üzerinde hava sürtünme kuvvetinin yarattığı etki,

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho v |v| \left[\pi \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]$$

$$v = (v_p - v_a)$$

formülleriyle hesaplanır [2,3]. Burada v_a havanın hızını, v_p ise parçacığın hızını ifade eder. Sürtünme katsayısı ise

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

istatistiksel formülüyle hesaplanır. Parçacık yörüngesi ise yatay ve dikey yöndeki ivmelerin çözülmesiyle hesaplanır. Buna göre:

$$\dot{x} = \frac{1}{m} [F_{D,x}]$$

$$\ddot{z} = \frac{1}{m} [-mg + F_{D,z}]$$

Bu denklemler 4. dereceden Runge Kutta rutini ile çözülür. Hesaplamalar parçacığın duvara çarptığı anda yani,

$$R^2 = x^2 + z^2$$

denklemin sağlandığı zaman sona erer. Tambur elekteki eksene hareket hem çıkış hızının dik bileşenine hem de eleğin eğim açısına bağlıdır. Parçacığın çıkış ve çarpma noktalarının dik koordinatları bilinmektedir. Buna göre parçacığın elek üzerindeki spiral yolu aşağıdaki denklemle bulunur,

$$I_A = \left[(z_D - z_I) = \dot{z}_D t \right] \sin \beta$$

Bu formül, tambur eleğin boyunun hesaplanmasında ve ayrıca malzeme yatak derinliğinin hesaplanmasında da kullanılır.

Döner elek ile temas halinde bulunan parçacıkların yükselmesi, parçacıkların yüzeyden ayrılma noktalarını ve eleğin ne kadarının malzeme ile kaplı olduğu bilgisini verir. Bir dönüşte parçacıklar tarafından işgal edilen alan, Şekil 1'de de gösterildiği gibi bant olarak adlandırılır [2,3]. Bant alanı, ne kadar eleme ve eksene ilerleme yapıldığının hesaplanması için çok önemlidir. Aynı şekilde eleğe giren malzeme miktarı bant alanına doğrudan etki ettiği için çok önemli bir parametre

olarak ele alınmıştır.

Geleneksel hesaplama yöntemi önce çıkış noktasının hesaplanması, daha sonra da bu çıkış noktasını veren açısal hızın tesbitidir. Bu hesaplama merkezkaç kuvveti ve ağırlığın dengelenmesi yoluyla hesaplanır,

$$\dot{\theta} = \sqrt{\frac{g \sin \alpha}{R}}$$

formülüyle ifade edilir. Ancak bu analiz malzemenin tambur duvarları üzerinde kaymadığında geçerlidir. Buna göre radyal ve teğetsel ivmeler hesaplanırsa,

$$A_R = -R(\dot{\theta})^2 - g \sin \theta$$

$$A_T = R\ddot{\theta} = \mu_d A_R - g \sin \theta$$

olarak bulunur. Bunlar birleştirilirse

$$\ddot{\theta} = \mu_d \dot{\theta}^2 - \frac{g}{R} [\mu_d \sin \theta + \cos \theta]$$

olarak bulunur. Bu denklemde 4. dereceden Runge-Kutta rutini kullanılarak çözülür.

Eleğin kapasitesi ve işlem hacmi elek üzerindeki malzemenin bir fonksiyonudur. Daha önce de belirtildiği gibi elek varsayım olarak bantlara bölünmüştür. Bir bant tarafından kapsanan alan, bant eni ile yay boyunun çarpılmasıyla elde edilir. Yay uzunluğu ise parçacık çıkış ve çarpma açıları kullanılarak:

$$I_T = R [2\pi - (\alpha_I - \alpha_D)]$$

olarak tanımlanır. Yatak derinliği ise tambura bir dönüşte giren malzeme miktarı V_B ve bant alanından

$$T = V_B / I_A I_T$$

olarak bulunur.

Genel olarak parçacık yörüngesinin ve diğer parametrelerin hesaplanmasını kolaylaştırmak amacıyla, Visual Basic 4.0 kullanılarak bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Genel parametreler dışında bir benzetim (simulasyon) modülü de eklenerek elek içindeki malzemenin elenmesi simule edilmiştir. Bu işlem sırasında malzemenin elek içindeki kalma süresi de tayin edilmiştir.

Yukarıdaki analitik hesaplamalarda parçalar homojen ve küresel olarak alınmıştır. Ancak, çöplerin içeriğinin çeşitliliği gözönüne alınarak, eleme benzetimi modülünde parçacıklar kare, dikdörtgen ve üçgen şeklinde varsayılmıştır. Benzetim modülünde önce elenecek olan çöpün bileşiminin yüzdeleri ve ortalama

parça boyutları istenir. Elek yüzeyi belli çapta perfore plakalardan oluşmuştur ve belirli bir açık alan yüzdesine sahiptir. Ayrıca çöpün elek içindeki yatak hacim oranı da hesaba katılarak, her dönüşte elenen ve kalan malzemenin miktarı belirlenir. Bu benzetim modülü sayesinde çeşitli sistem parametrelerinin genel performans üzerine etkileri belirlenmiştir. Bunlar bir sonraki bölümde sunulmuştur. Bilgisayar programında ayrıca tamburun yük ve güç hesaplamaları da gerçekleştirilmiştir. Tambur tasarımına ek olarak katı atık işleme tesislerinde kullanılmak üzere, düz ve eğik konveyör tasarımlarının yapılabildiği bir modül de program içine dahil edilmiştir.

ELEK DELİK ÇAPLARININ TAYİNİ

Döner elek tasarımının önemli bir noktası elek delik çaplarının tesbitidir. Kompostlama işlemi için gerekli olan organik maddelerin gelen çöpten ayrılması için, uygun elek delik çaplarına ihtiyaç vardır. Eleme işleminde sadece organik maddeler değil, kağıt, mukavva, teneke kutular gibi maddeler de elenmektedir. Bu yüzden tek delik çapı kullanmak yerine, birkaç değişik delik çapı da kullanılabilir.

Organik maddelerin ayrılması için uygun elek delik çapı tayininde Rousseaux'un [6] çalışmaları ışık tutmuştur. Bu çalışmalarda Brezilya çöprü incelenmiş ve organik maddelerin ayrılması için gerekli olan elek delik çapları bulunmuştur. Brezilya ve Türkiye'deki çöplerin hemen hemen aynı oranlarda organik madde içermesi, bu çalışmaların bize uygulanabilirliğini göstermektedir. Bu çalışmanın sonucuna göre:

25 - 60 mm arasındaki elek delik çapları çöp içinde bulunan organik maddelerin ayrılmasında kullanılmalıdır. Bu sınır içinde çöpler üçe ayrılabilir.

• 25 mm ve altında % 95 oranında organik maddeler bulunmaktadır. Ancak ağır metallerle kirlenme riski vardır.

• 25-60 mm arasında organik maddeler % 55 oranında olup, ağır malzemeler balistik ayırma metoduyla ayrılabilir.

• 60 mm'den büyük parçalarda ise yüksek oranda geri kazanılabilir malzeme bulunmaktadır. elle ayırma metoduyla kağıtların % 70'i, plastiklerin % 80'i, metallerin ise % 90'nını ayırmak mümkün olmaktadır.

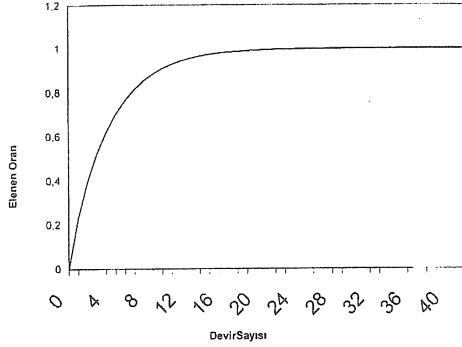
Görüldüğü üzere organik maddelerin ayrılabilinmesi için 25-60 mm arasındaki elek delik çapı yeterli olmaktadır.

Elek delikleri perfore plakalardan tambur çapına göre üretilmektedir. Bilgisayar programında ve diğer hesaplamalarda, delik çapları ASTM E 674 nolu standart değerlere göre tesbit edilmiştir. Aynı standartların ISO 7805-1:1984 nolu karşılıkları da bulunmaktadır. Tambur içine atılan çöp torbalarını açmak için, tambur boyunca sivri plakalar yerleştirilmiştir. Ayrıca, perfore plakalar tambur üzerine civatalanmak suretiyle monte edilmiştir. Bu sayede, hasar gören plakaların kolayca değiştirilmesi sağlanmış olacaktır. Tambur geometrisi ise sadece silindirik bir şekilde sınırlı değildir. Alügen, sekizgen gibi çokgen

kenarlı tambur geometrilerinin eleme verimliliğini artırdığı gözlemlenmiştir. Fakat, bu tür tamburların imalatı, diğerlerine göre daha zor olmaktadır.

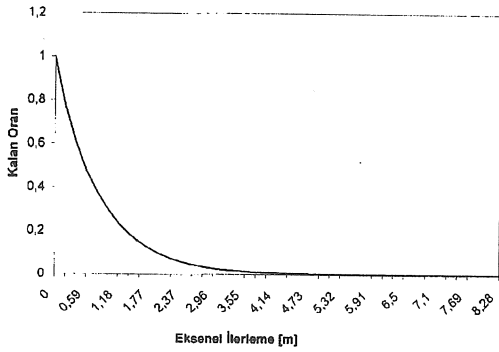
SİSTEM PARAMETRELERİNİN TARTIŞILMASI

Bir önceki bölümde belirtildiği gibi yapılan bilgisayar programı kullanılarak çeşitli sistem parametrelerinin değişimleri grafik olarak gösterilmiştir. Bu değerler, 3 m. çapında ve 12 m. boyunda ve 60 ton/saat işleme kapasitesine sahip bir tambur kullanılarak bilgisayar tarafından elde edilmiştir. Şekil 3'te tambur dönüş sayısının parçacıkların elenmesi üzerine etkisi gösterilmiştir.



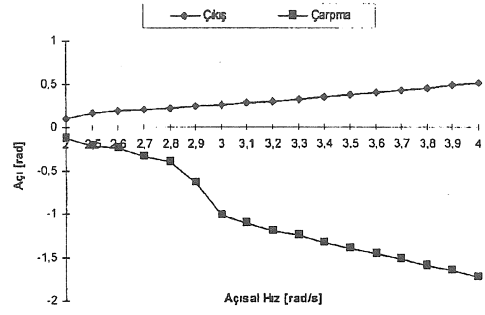
Şekil 3. Devir sayısına göre elenen oran değişimi

Görüldüğü gibi dönüş sayısı arttıkça elenen malzeme miktarı da artmaktadır. Bu yaklaşım daha önce diğer araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da gözlenmiştir [2,3]. Şekil 4'te kalan malzemenin eksenel uzunluk ile değişimini göstermektedir.



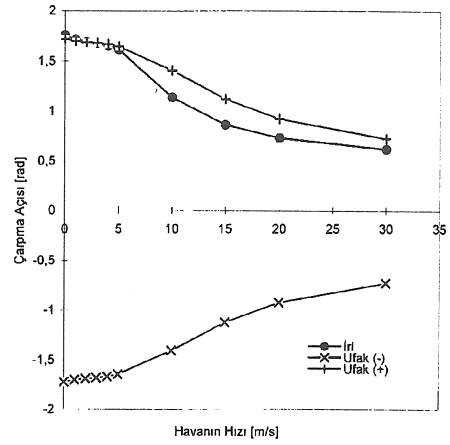
Şekil 4. Eksenel uzunluğa göre kalan oran değişimi

Tambur boyunun tayininde ipuçları veren bu grafikte, tambur boyu uzadıkça elenen malzemenin artacağını göstermektedir. Modelin genel performansı belirlendikten sonra giriş parametrelerinin veya girdilerin çıkış ve çarpma açıları gibi çıktı parametrelerine etkisi araştırılmıştır. Bu parametreler parçacık çapı ve yoğunluğu, havanın hızı, açısal hız, delik veya perfore çapı gibi tambur elek karakteristikleridir. Şekil 5'te açısal hızın çıkış ve çarpma açılarına olan etkisi gösterilmiştir.



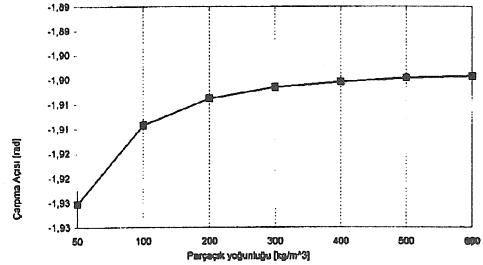
Şekil 5. Açısal hızın, çıkış ve çarpma açılarına olan etkisi

Grafikten görüldüğü üzere düşük açısal hızlarda çıkış ve çarpma açıları birbirlerine çok yakın değerdedirler. Bu kiln hareketinin göstergesidir. Parçacık hızı eğik atışı başlatacak hızda değildir. Ancak, belli bir hızdan sonra açı değerleri farklar göstermektedir. Çarpma açısının eksi değer göstermesi Şekil 1'de gösterilen referans sisteminden dolayıdır. Elek içindeki havanın hızının ve parçacık boyutunun çarpma açısına olan etkisi ise Şekil 6'da gösterilmiştir.



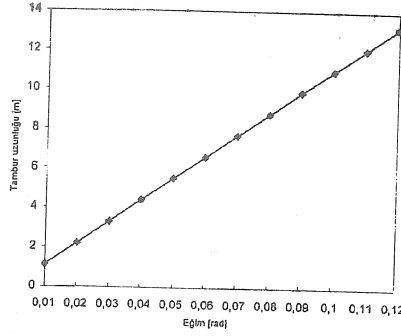
Şekil 6. Havanın hızı ve parçacık boyutunun çarpma açısına olan etkisi

Havanın hızı arttıkça parçacık daha kısa mesafelere düşmektedir. Ayrıca 5 m/s'den daha fazla hızlarda hafif parçaların çarpma açısının ağırlara nazaran daha çabuk azaldığı görülmüştür. Şekil 7'de parçacık yoğunluğunun çarpma açısına olan etkisi gösterilmiştir.



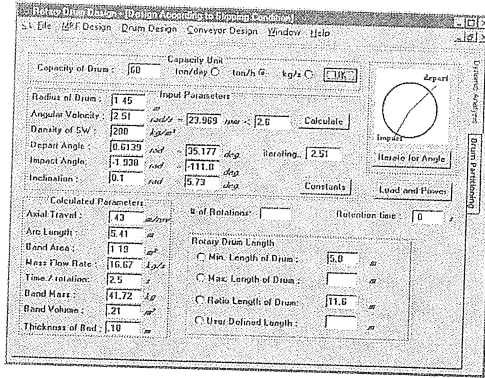
Şekil 7. Parçacık yoğunluğunun çarpma açısına olan etkisi

Hafif parçaların daha fazla gittikleri görülmektedir. Tambur eleğin boyunun tesbitinde en önemli faktörün eleğin eğiminin olduğu Şekil 8'de gösterilmiştir.

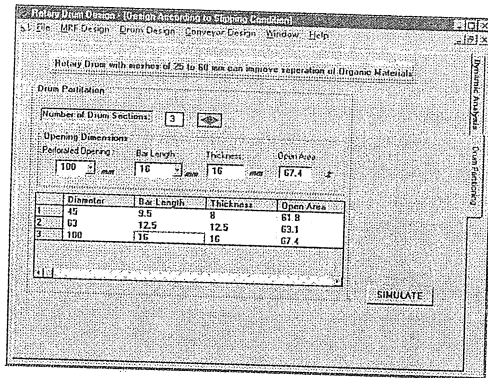


Şekil 8. Tambur uzunluğunun eğime göre değişimi

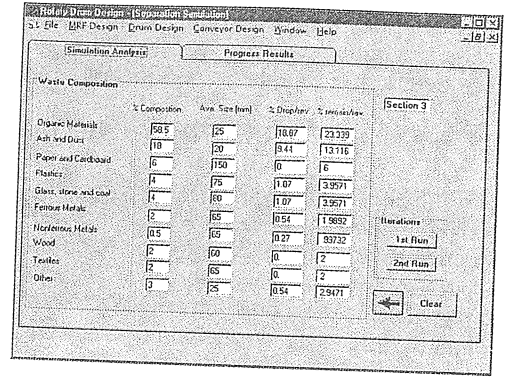
Aynı sonuçların Erden, Platin ve Gülder'in çalışmalarında da gözlemlenmiştir [5]. Yapılan bilgisayar programının ekran görüntüleri de Şekil 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 ve 16'da gösterilmektedir.



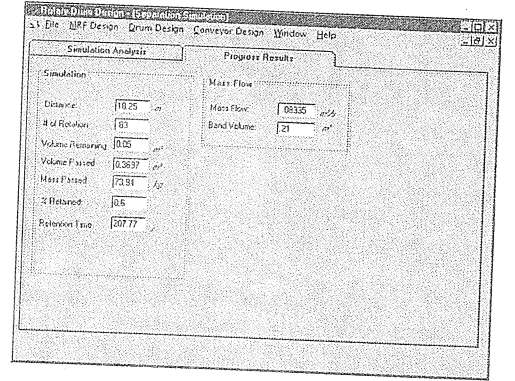
Şekil 9. Döner elek tasarım ekranı



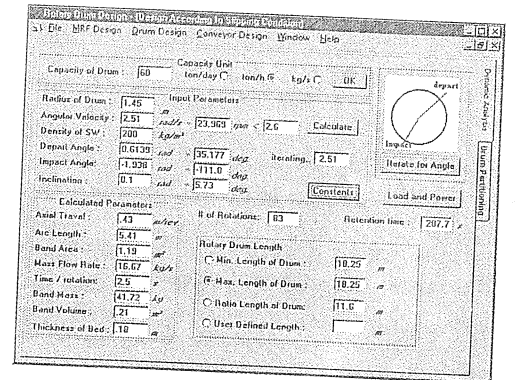
Şekil 10. Perfore plaka ve bölümlenme ekranı



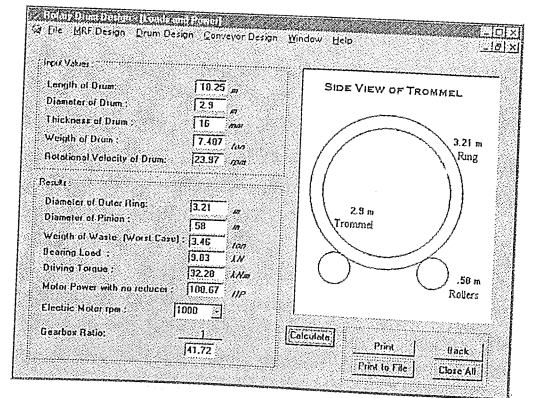
Şekil 11. Simülasyon ekranı-1



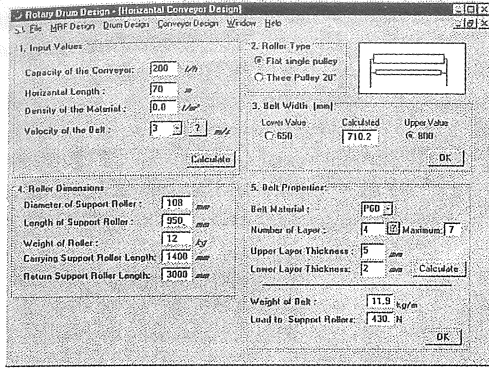
Şekil 12. Simülasyon ekranı-2



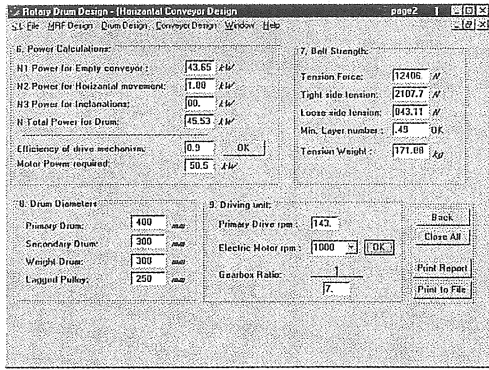
Şekil 13. Uzunluk belirlenmesi



Şekil 14. Yük ve güç hesabı



Şekil 15. Konveyör tasarımı 1/2



Şekil 16. Konveyör tasarımı 2/2

SONUÇ

Parametrelerin incelenmesi sonucunda, (1) ince parçacıkların daha önce elendiği, (2) iyi bir şelaleme etkisi elde edildiğinde dahi oldukça yüksek açısız hızlara gerek duyulduğu, (3) düşük hız ve besleme oranlarında uçuşların oldukça düştüğü ve malzemenin elenmesinin zorlaştığı, (4) malzeme kalma süresinin doğru tahmininin iyi bir eleme ve tambur boyunun tesbitinde önemli bir parametre olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar ve bilgisayar programı sayesinde katı atık işleme tesislerinde çok önemli bir yer tutan döner tambur elek tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayede gelen karışık çöp içinden organik maddelerin büyük kısmı ilk etapta ayrılarak, kalan işlemlerde de kağıt, metal, cam gibi geri kazanılabilecek malzemelerin ayrıştırılması imkanı sağlanmıştır. Böylece komple bir katı atık işleme ve kompost tesisi tasarımının temelleri atılmıştır.

SEMBOLLER

A	ivme	m/s^2
C_D	çekme katsayısı	
d	parçacık çapı	m

g	yerçekim ivmesi	m/s^2
H	yükseklik	m
I	atalet	m^4
l	uzunluk	m
m	kütle	kg
N_c	kritik hız	rpm
R	yarıçap	m
Re	Reynolds sayısı	
t	zaman	s
t	kalınlık	m
u	mesafe	m
v	yatay hız	m/s
V	hız	m/s
x	parçacık yatay pozisyonu	m
z	parçacık dikey pozisyonu	m
α	elekte noktanın açısız yeri	rad
β	eğim açısı	rad
μ	sürtünme katsayısı	
ω	açısız hız	rad/s

Alt karakterler

0	başlangıç
1	birinci
2	ikinci
a	havaya ait
ave	ortalama
A	eksenel
c	kiritik
d	dinamik
eq	eşdeğer
D	çıkış
g	yerçekim
I	çarpma
p	parçacık
R	radyal
T	total
u	üst
x	yanal yönde
z	dik yönde

COMPUTER AIDED DESIGN OF ROTARY SCREEN AND ITS CONVEYOR FOR SOLID WASTE PROCESSING SYSTEMS

In this study, current solid waste processing systems are analyzed. Then, a rotary screen and conveyor is designed for composting plants. A computer program is developed for design operations. By the use of a simulation model included in the program, data are obtained and these are plotted to see system characteristics. These data then are compared with the previous works.

KAYNAKÇA

1. Howard, S. Peavy, Donald R. Rowe, George Tchobanoglous, *Environmental Engineering*: McGraw Hill Book Company, 1986, 661.
2. Stessel Ian Richard, *A New Trommel Model*, *Resources, Conservation and Recycling*, 6 (1991) 1-22.
3. Stessel Ian Richard, and Kranc S.C., Particle Motion in Rotary Screen, *Journal of Engineering Mechanics*, v.118, n.3, March (1992) 604-619.
4. Erden, A., Kılıç, E.S., Gülder, Ö.L., Platin, B.E., Tambur Tipi Savuruculu Döner Kurutucu Tasarımı, II-Kurutulacak Malzemenin Akış Mekanikliği, *TÜBİTAK 7. Bilim Kongresi*, Mak. Müh. Böl., Aydın, (1980) 97-110.
5. Erden, A., Platin, B.E., Gülder, Ö.L., Modelling and Design of Rotary Dryers, *Proc. Third International Drying Symposium*, v.2 (1982) 466-477.
6. Rousseaux, P., Borges de Castilhos, A., Vermande, P. and Veron, J., Determination of Trommel Meshes for Optimal Separation of Compostible Fraction of Municipal Solid Waste from Florianopolis, S.C., Brazil, *Resources, Conservation, and Recycling*, 6 (1992) 217-229.
7. Alkan, Okan, Computer Aided Design of Rotary Screen and its Conveyor for Solid Waste Processing Systems, *MS: Thesis*, Mechanical Engineering Department, Middle East Technical University, 1996.

Melih Bayramoğlu
Doçent

M. Merter Çankaya
Araştırma Görevlisi

Makina Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Çukurova Üniversitesi
01330 ADANA

Östenitik Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkı ile Kesilmesi

Bu çalışmada hava plazma sistemi kullanılarak farklı kalınlıklardaki paslanmaz çelik levhalar değişik kesme hızlarında kesilmiştir. Kesilen levhalarda kesme genişliği, yüzey pürüzlülüğü, kesme kenarı açıları ve ısı tesiri altındaki bölge genişlikleri ölçülerek kesme hızının bu değerler üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

GİRİŞ

Plazma ile malzemelerin kesilebileceği ilk olarak 1950'li yılların başında fark edilmiştir. Başlangıçta bu yöntem daha çok paslanmaz çeliklerin, alüminyum ve diğer demir olmayan metallerin kesilmesi için oksii-asetilen ile kesme yöntemine alternatif bir yöntem olarak kullanılmıştır [1]. Son yıllarda, plazma arkı ile kesme yöntemi, sade karbonlu, alaşımlı ve paslanmaz çeliklerin, nikel ve kobalt bazlı süper alaşımların ve alüminyum ve bakır gibi demir olmayan metallerin kesilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle, paslanmaz çelik ve alüminyum gibi malzemelerin yüzeyinde oluşan ve ana metali korozyondan koruyan oksit ve nitrit tabakalarından dolayı kesilmesi zor olan bu gibi metallerin kesilmesinde plazma arkı ile kesme başarılı bir şekilde kullanılabilir.

Plazma arkı ile kesme yönteminde, plazma bir seri olaydan sonra oluşmaktadır. Gaz torçun içerisine gönderilir. Torçun içerisindeki tungsten elektrot ile meme arasında yüksek frekans oluşturulur ve düşük akımlı pilot ark yakılır. Pilot ark tungsten elektrottan iş parçasına doğru bir iyonizasyon yolu oluşturur. Pilot arkin oluşturduğu elektrik devresi içerisine giren gaz iyonize olur. İyonize olmuş gaz memenin ucundaki orifisten geçerken iyonizasyon düzeyi daha da yükselir. Memeden çıkan gaz jetinin sıcaklığı 16650-27770°C arasındadır. Bu gaz jeti metali buharlaştırır ve ergitir [2,3].

Plazma kesme yönteminde iki çeşit arkten yararlanır. Bunlar transfer olmuş ve transfer olmamış arklardır. Transfer olmuş arkta iş parçası elektriksel olarak pozitifdir. Ark torçun içindeki elektrottan iş parçasına doğru gönderilir. Bu durum için plazma ark deyimini kullanılır. Transfer olmamış arkta ise, ark

elektrot ile torç memesi arasında oluşturulur ve daha sonra yalnızca gaz jeti dışarıya çıkartılır. Bu durum için de plazma jeti deyimini kullanılır. Plazma jetinde üretilen ısının büyük çoğunluğu meme tarafından alındığı için kesme işleminde etkin olarak kullanılamaz. Bu sebeple metallerin kesilmesinde plazma ark yöntemi kullanılır. Plazma jeti ise daha çok iletken olmayan malzemelerin kesilmesinde kullanılır.

Plazma arkı ile kesme konusunda yapılan çalışmalar daha çok, gaz seçimi ve üretime olan etkileri [1,4], yöntemin diğer termik kesme yöntemleri ile karşılaştırılması [5,6,7], yöntemin su altında kullanımı [8], yeni torç sistemlerinin geliştirilmesi ve torç kullanım ömrünü artırmak [9,10], daha yoğun plazma arkı oluşturmak [11], kontrol sistemlerinin kullanımı ile sistemin otomasyonu [12], ve çapak oluşumu [13] gibi konularda yapılmıştır. Paslanmaz çeliklerin plazma arkı ile kesilmesi konusunda daha önce yapılan çalışmalar, genellikle argon-hidrojen karışımları ve nitrojen gibi gazların plazma gazı olarak kullanılması üzerinde yoğunlaşmıştır [4,14,15,16]. Oksitleyici ortamda kullanılan saf tungsten elektrodların hızlı bir şekilde aşınmasından dolayı bu gibi ortamlarda hafniyum veya zirkonyum alaşımlı su soğutmalı özel elektrodların kullanımı ile elektrod ömrünün önemli derecede arttığı belirtilmiştir [4,5]. Fakat, bu gazların kullanılması ile kesme işleminin maliyeti artmaktadır. Hava düşük akım ihtiyacı ve ucuz olması nedeniyle çoğunlukla sade karbonlu çelkiler ve düşük alaşımlı çelikler için kullanılsa da, özellikle ülkemizde, paslanmaz çelikler için de yaygın olarak kullanılmaktadır [14, 16, 17]. Bu çalışmada, paslanmaz çelik malzemelerin hava plazma sistemlerinde kesilmesi ile elde edilecek kesme kalitesinin araştırılması amaçlanmıştır.

DENEYSSEL ÇALIŞMALAR

Plazma arkı ile kesilmiş parçalarda yüzey kalitesini etkileyen en önemli faktörlerden birisi kesme hızıdır. Bu amaçla, farklı kalınlıklardaki malzemeleri değişik doğrusal hızlarda titreşimsiz olarak kesebilecek uygun bir deney düzeneği kurulmuştur.

Deney düzeneği esas olarak, plazma kesme makinası, hava kompresörü, malzeme masası, torç taşıyıcısı ve bir torna tezgahından oluşmaktadır. Plazma kesme makinası, SAF Nertazip 520 Sr marka Hava-Plazma kesme makinası olup, plazma gazı ve soğutucu gaz olarak hava kullanılmaktadır ve 0.5-20 mm kalınlığındaki bütün iletken malzemeleri kesebilecek kapasitededir. Kesilecek levha kalınlığına bağlı olarak, torçta iki farklı orifis çapına sahip meme kullanılmıştır. 0.5-5 mm kalınlığındaki malzemelerin kesiminde 1 mm orifis çapına sahip meme, 3-20 mm kalınlığındaki malzemeler için ise 1.2 mm orifis çapına sahip meme kullanılmıştır. Plazma gazı olarak kullanılan hava basıncı ortalama 7 bar olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyler esnasında kullanılan farklı hız değerleri torna tezgahının dış açma konumundaki hatve oranlarının değiştirilmesi ile sağlanmıştır.

Yapılan deneylerde 1, 1.5, 2, 3 ve 10 mm kalınlığındaki östenitik paslanmaz çelik levhalar kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan paslanmaz çelik levhaların kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. Kesme işlemleri esnasında levhalar malzeme masasına rijit bir şekilde bağlanmış, çalışma yüksekliği, memenin orifis çapı ve akım değerleri makinanın çalışma şartlarına ve levha kalınlığına uygun olarak ayarlanmıştır. Malzemenin cinsine ve kalınlığına bağlı olarak seçilen değişik hızlarda kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan paslanmaz çelik malzemelerin kimyasal bileşimi (%)

Element	Oran (%)	Element	Oran (%)
C	0.05	Ni	8.31
P	0.03	Cu	0.40
Mo	0.19	Mn	1.71
Co	0.15	Cr	18.13
Si	0.56	Al	0.005
S	0.001	Nb	0.02

Kesme kenarı açılarının ölçülmesi için levhalardan enine kesit alınarak sağ ve sol eğim açıları Mitutoya profil projektörü ile ölçülmüştür. Kesilen levhalarda kesme kenarının üst köşesinde yuvarlaklaşma olup olmadığı ise stereoskopik mikroskop altında kontrol edilmiştir.

Değişik hızlarda kesilen paslanmaz çelik levhalarda, plazma arkının etkisi ile kesme kenarında oluşan Isı Tesiri Altındaki Bölge (ITAB) genişliğinin ölçülebilmesi ve oluşabilecek krom karbür çökelmesinin belirlenebilmesi amacıyla numunelerde mikroyapı incelemesi yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Plazma arkı ile kesme işleminde elde edilen yüzey kalitesi, kesme genişliği, yüzey pürüzlülüğü, kenarların eğim açıları, üst kenarın keskinliği, çapak oluşumu ve ITAB genişliği gibi parametrelere bağlı olarak değerlendirilir. Bu nedenden dolayı, kesilen levhalarda bu parametrelerin ölçülmesi ile farklı şartlarda elde edilen yüzey kaliteleri karşılaştırılmıştır ve en uygun kesme hızı değerleri tespit edilmiştir.

Kesme Genişliği

Yapılan deneyler sonucunda değişik hızlarda kesilen levhalarda ölçülen kesme genişliği değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Kesilen levhalarda kesme genişliklerinin malzeme kalınlığı ile arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni malzeme kalınlığı arttıkça, orifis çapı daha büyük olan memelerle kesme işlemi yapılması ve kesme hızının azalmasıdır. Kesme genişliği değerlerinin kesme hızı azaldıkça az da olsa artmakta olduğu görülmüştür. Bu artışın sebebi kesilen parçada kesme yüzeyinin plazma arkının ısı ile daha çok işlenmesidir.

Tablo 2. Farklı hızlarda oluşan minimum ve maksimum kesme genişlikleri

Malzeme	Paslanmaz Çelik			
	1.5		10	
Kesme Hızı (m/dak)	1.9	1.7	0.6	0.5
Kesme Genişliği (mm)	1.4	1.6	2.2	2.4

Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü plazma gazının cinsi ve basıncı, plazma yöntemi, kesme hızı ve çalışma yüksekliği ile ilişkilidir. Bu çalışmada, plazma yöntemi, plazma gazının cinsi ve çalışma yüksekliği sabit tutularak farklı kalınlıklardaki levhalar için değişik kesme hızlarında ve gaz basınçlarında deneyler yapılmış ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkileri incelenmiştir.

Gaz basıncının düşük olması durumunda, kesilen parçada ergitilen metal talaşları plazma jeti ile tam olarak üflenip uzaklaştırılmadığı için yüzey pürüzlülüğünün arttığı gözlenmiştir (Şekil 1a). Uygun gaz basıncı ile kesilen yüzey ise daha az pürüzlüdür (Şekil 1b). Gaz basıncının çok yüksek olması durumunda ise ark fazla soğutulur ve etkisini kaybeder [4].

Deneysel çalışmalarda kullanılan 1, 1.5, 2, 3 ve 10 mm kalınlıklardaki levhalar için optimum hız değerleri sırası ile ortalama 5, 1.9, 1.4 ve 0.6 m/dak olarak bulunmuştur. Optimum değerlerin altında ve üstünde yapılan kesme işlemlerinden elde edilen numuneler incelenerek, kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi araştırılmıştır. Düşük hızlarda yapılan kesme işlemlerinde, plazma ark sütunundan daha geniş kesme

genişlikleri elde edildiği için, malzemenin kenarlarının plazma jeti tarafından iyice işlenemediği ve yüzeyin pürüzlü kaldığı görülmüştür (Şekil 2a). Çok yüksek hızlarda ise plazma jetinin kesme yüzeyini tam olarak işleyemeden o bölgeyi terketmesi nedeni ile yüzeyin pürüzlü olarak kaldığı görülmüştür (Şekil 2b).

Kenar Açılırları

Plazma arkı ile kesme işleminde, arkın en dıştaki akım çizgileri enerjilerini malzemeyi ergitip, buharlaştırmaya harcadıklarından kaybolurlar. Bu olay arkı daraltır ve ark malzemenin alt kenarından daralarak çıkar. Dolayısıyla kesilen parçada alt ve üst kesme genişlikleri farklı olur ve kenarlar eğimli olarak işlenir.

Yapılan deneylerde ölçülen açı değerleri incelendiğinde, sol kenardaki açılardan sağ kenardaki açılardan fazla olduğu görülmüştür. Buna plazma gazının torça teğetsel olarak gönderilmesi ile elde edilen girdap sebep olmaktadır. Bu çalışmalarda kullanılan hava plazma sisteminde elde edilen sağ açı değerleri, daha önce bu konuda yapılan çalışmalarda kullanılan argon hidrojen karışımı gazlar ile [2,3] elde edilen sağ açı değerleri ile benzerlik göstermektedir. İnce kesilli levhaların kesilmesinde oluşan yüksek sağ açı değerleri ise kullanılan çalışma yüksekliğinin fazla olduğunu göstermektedir. Çalışma yüksekliğinin parça kalınlığına göre daha hassas bir şekilde ayarlanması ile bu problem giderilebilir. Bu çalışmalar sırasında elde edilen sol açı değerleri ve daha önce yapılan çalışmalarda [2,3] elde edilen sol açı değerleri birbirlerine göre farklılık göstermektedir. Bu durum deney koşullarının farklı olmasından veya deneylerde kullanılan torçlarda gazın girdap etkisinin farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir. Plazma gazının torça teğetsel olarak gönderildiği yöntemlerde sol kenar artık kenar olarak değerlendirilir. Bu nedenle bu kenarda ölçülen açı değeri fazla bir anlam ifade etmemektedir.

Tablo 3. Farklı hızlarda oluşan minimum ve maksimum kenar açıları

Malzeme	Paslanmaz çelik									
	12					22				
Akım (A)	12					22				
Kalınlık (mm)	1	1.5	2	3	10	1	1.5	2	3	10
Kesme hızı (m/dak)	4.7	4.8	1.8	1.9	1.3	1.4	0.7	0.8	0.5	0.6
Sol açı (derece)	30	32	22	27	22	33	10	24	12	24
Sağ açı (derece)	16	19	10	14	1	4	1	5	1	5

Tablo 3'de görüldüğü gibi kesme kenarı açıları, kesme hızının artması ile artmaktadır. İnce levhalarda yapılan deneylerde kesme hızları yüksek olduğundan elde edilen açı değerlerinin, düşük hızlarla kesilen kalın levhalarda elde edilen açı değerlerinden daha büyük olduğu görülmüştür. Düşük hızlarla kesme işlemi yapıldığında, hemen hemen dik kesme kenarları elde

edilebilir, fakat işlemin süresi uzar ve malzeme plazma arkının ısısından çok fazla etkilendir.

Köşelerin Keskinliği

Bu çalışmada kesilen parçalarda yapılan incelemelerde üst köşede yuvarlaklaşma oluşumuna rastlanmamıştır. Daha önce bu konuda yapılan çalışmalarda [15] bu olaya yüksek kesme hızlarında ve çalışma yüksekliğinin fazla olması durumunda rastlanabileceği bildirilmiştir.

Çapak Oluşumu

Bütün ısı kesme yöntemlerinde olduğu gibi plazma arkı ile kesilen yüzeylerde de çapak oluşabilir. Yapılan incelemelerde, ideal hız değerlerinden daha düşük ve daha yüksek hızlarla kesme yapıldığında, kesilen yüzeyde oluşan çapak miktarının fazla olduğu gözlenmiştir. İdeal hız değerlerinde ise çapak oluşumuna hemen hemen hiç rastlanılmamıştır. Bu sonuç daha önce yapılan çalışmalarda da belirtilmiştir [13,15]. Kesme hızının düşük olması durumunda oluşan çapağın, plazma arkının ısı ile daha uzun süre işlenmesi sebebi ile daha yumuşak olduğu ve kolayca yerinden kopartıldığı görülmüştür. Yüksek hızda oluşan çapağın ise plazma arkı ile tam olarak işlenmemesi sebebi ile kesilen yüzeye bağlı olduğu ve yerinden kolayca kopartulamadığı gözlenmiştir.

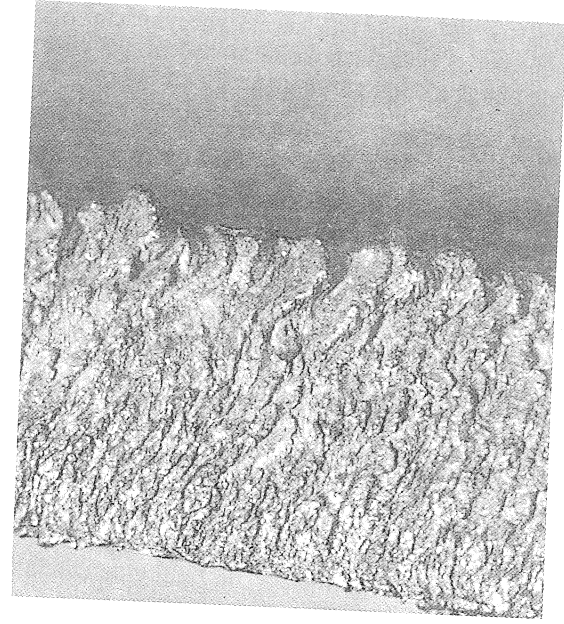
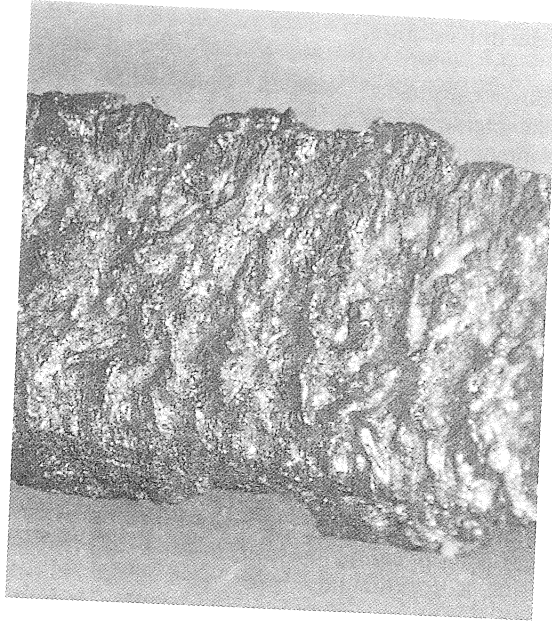
ITAB Genişliği

Östenitik paslanmaz çelikler 427-871°C sıcaklık aralığından yavaş bir şekilde geçirildiklerinde, içlerindeki en önemli alaşım elementi olan krom karbon ile birleşerek tane sınırlarında krom-karbür çökeltisi oluşturur [2,18]. Krom karbür oluşumu ITAB bölgesinin korozyon direncini düşürür ve taneler arası korozyon (intergranular corrosion) oluşturma olasılığını artırır.

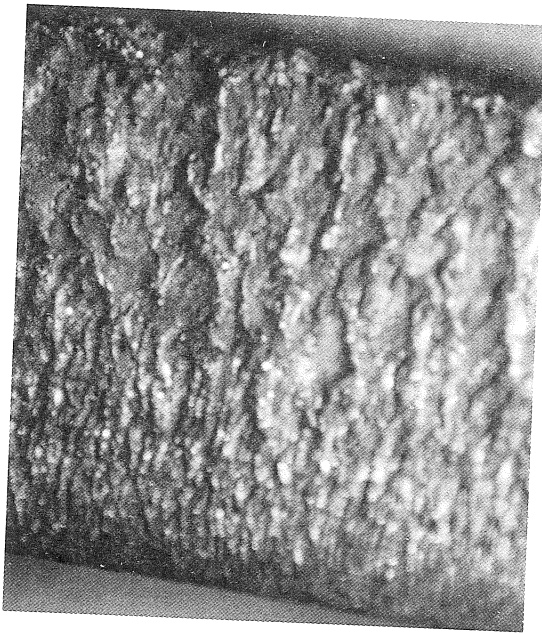
Deneylerde kesilen östenitik paslanmaz çelik levhalarda yapılan mikroyapı incelemelerinde, yüksek kesme hızı, ortamdaki ısının arkı çevreleyen gaz tarafından absorbe edilmesi ve dar ark sütunundan dolayı çok dar bir ITAB bölgesi gözlenmiştir. Daha önce yapılan çalışmalarda da belirtildiği gibi, hızlı soğuma sonucu kesme bölgesinde oluşan ITAB bölgesinde krom karbür çökmesi oluşmamaktadır [14].

Deneylerde kesilen malzemelerde ölçülen ITAB genişliği değerleri, kesilen yüzeyde ITAB'ın en fazla olduğu yerlerden ölçülmüştür. Kesilen levhaların yüzeyinde bu genişliklerin daha az olduğu yerler mevcuttur. Kesilen levhalarda ITAB genişliğinin üst kenardan alt kenara doğru arttığı gözlenmiştir. Bunun nedeni malzemeyi üst kenardan başlayarak kesen plazma arkının alt kenara doğru ilerledikçe yoğunluğunu kaybedip malzemeyi fazlaca ısıtmasıdır.

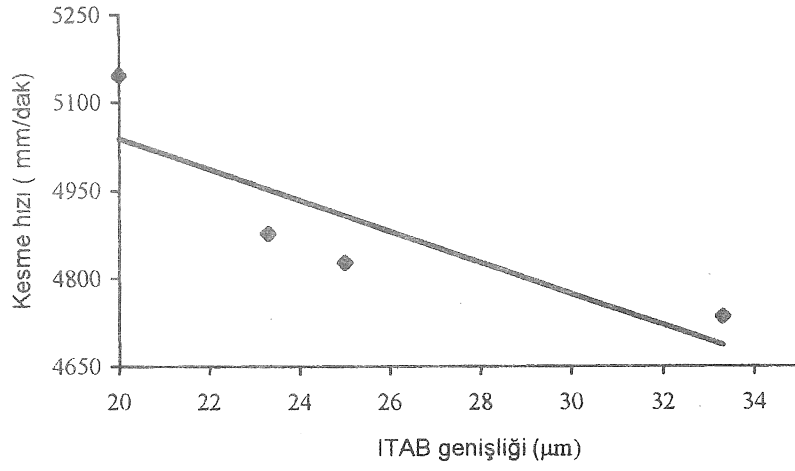
ITAB genişliği kesme hızı ve levha kalınlığına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin ince levhalara göre daha



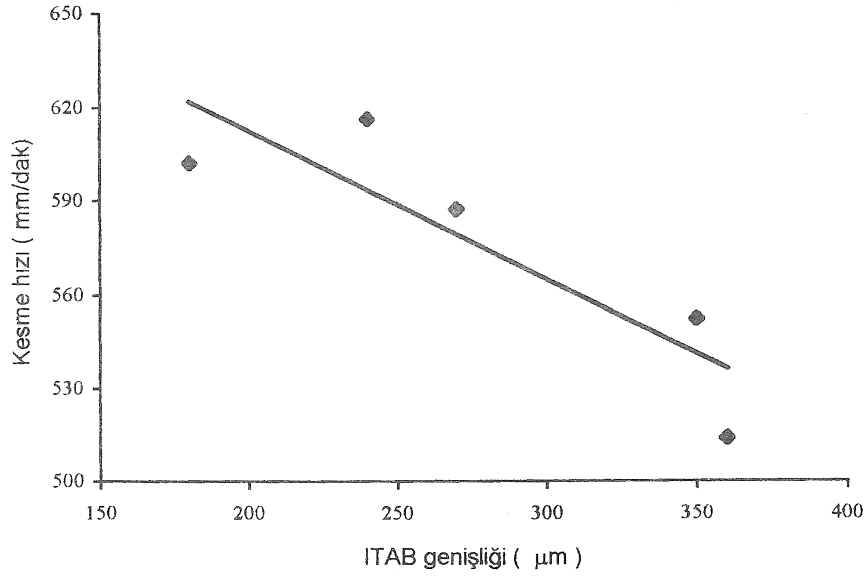
Şekil 1. Düşük ve Uygun Gaz Basıncı ile Kesilen Yüzeylerin Görünüşü (X15).



Şekil 2. 3 mm Kalınlığındaki Levhanın (a) Düşük (0.6 m/dak) ve (b) Yüksek Hızla (1.3 m/dak) Kesilen Yüzeylerin Görünüşü (X7.5).



Şekil 3.1 mm'lik Paslanmaz Çelikte Kesme Hızı-ITAB Değişimi.



Şekil 4.10 mm'lik Paslanmaz Çelikte Kesme Hızı-ITAB Değişimi.

düşük hızla kesilen 10 mm'lik levhada ölçülen maksimum ITAB genişliği değerleri 150-400 µm iken, daha yüksek hızlarla kesilen 1 ve 1,5 mm'lik levhalarda ölçülen ITAB değerleri 20-45 µm arasında değişmektedir (Şekil 3 ve 4). Bunun nedeni kesme hızının azalması ile kesme süresinin artması ve kesilen parçanın plazma arkının ısı ile daha çok etkilenmesidir. Kesme hızının yüksek olması durumunda, plazma ısısının büyük bir kısmı kesme bölgesinden malzemenin iç bölgesine transfer edilmeden malzeme kesilir ve soğutulur. Bu nedenden dolayı daha dar bir ITAB oluşur.

SONUÇ

Hava plazma sistemleri ile paslanmaz çeliklerin kesilmesinde yüzeyde oluşan kararlar haricinde yüzey kalitesinde herhangi bir olumsuz etki görülmemiş ve malzemenin antimanyetik özelliği değişmemiştir. Ancak, daha sonra kaynak edilecek paslanmaz çeliklerde kesimden sonra yüzeyde oksit istenmemektedir. Bu gibi nedenlerden dolayı hava plazma sistemleri ile kesilmiş kenarlar oksit tabakası temizlenmeden kaynak edilmemelidir. Aksi halde pürüzlü ve kaynak kökleri kötü olan kaynaklar elde edilebilir. Ayrıca, kesilen yüzeylerdeki ergimiş metal tarafından absorbe edilen azot, bu parçaların kaynak edilmesi halinde kaynak bölgesinde gözenek oluşumuna da neden olur [5].

Plazma arkı ile kesme işleminde kesme hızının yüzey kalitesine önemli etkisi olduğu görülmüştür. Farklı kalınlıklardaki parçaların kesiminde istenilen yüzey kalitesini elde edebilmek için kesme hızı, plazma yoğunluğu aynı kalacak şekilde kontrol edilmelidir.

Plazma arkı ile kesilen malzemenin kenarlarının tam dik olması istendiğinde eğim açısını ortadan kaldırmak için ikinci bir işleme gerek vardır. Bu işlem ek maliyet ve zaman kaybına yol açar. Ancak eğikliğin önemli olmadığı durumlarda örneğin kaynak ağız açılması ya da malzemenin sadece hızlı bir şekilde kesilip koparılması istendiğinde bu durum sorun oluşturmaz.

İnce kesitli malzemelerde oluşan yüksek kesme kenarı açılı, bu malzemelerin yığın şeklinde kesilmesi ile en aza indirilebilir. Ancak levhalar üst üste yerleştirildiğinde kalınlık arttırılacağı için kesme hızı düşer ve daha geniş ITAB elde edilir.

PLAZMA ARC CUTTING OF AUSTENITIC STAINLESS STEELS

In this study, austenitic stainless steel plates with varying thicknesses have been cut by using an air-plasma cutting system. The effect of cutting speed on the cut surface quality has been investigated by carefully evaluating the smoothness and sharpness of

the cut edge, kerf width, dross formation and heat affected zone formed on the specimens.

KAYNAKÇA

1. McGeough, J.A., *Advanced Methods of Machining*, Chapman and Hall Ltd., Cambridge, 1998.
2. Karadeniz, S., *Plazma Tekniği*, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, Yayın No.137, Ankara, 1990.
3. Craig, E., The Plasma Arc Process- A Review, *Welding Journal*, 67 (1994) 2, 19-25.
4. Severance, W.S., Anderson, D.G., How Plasma Arc Cutting Gases Affect Productivity, *Welding Journal*, 63, (1984) 2, 35-39.
5. Femicola, R.C., New Oxygen Plasma Process Rivals Laser Cutting Methods, *Welding Journal*, 73, (1994) 6, 65-69.
6. Pellechia, M., *Select the Best Process: Laser or Precision Plasma*, *Welding Design and Fabrication*, Special Report June 1995, 19-26.
7. Akçam, İ.Ö., Termik Kesme Yöntemlerinin - Otojen Tekniği, Plasma, Laser-Karşılaştırılması, *Mühendis ve Makina*, 37 (1996) 436, 22-28.
8. Bach, W., Gruchow, A., Plasma Cutting in Atmosphere and Under Water, *Pure and Applied Chemistry*, 64, (1992) 5, 665-670.
9. Sasse, F.H., Oxygen Plasma Process Increases Quality in Cutting Carbon Steels, *Welding Journal*, 70, (1991) 2, 64-66.
10. Szulc, J., Improving the Durability of the Electrodes for an Air-plasma Cutting, *Journal of the Materials Processing Technology*, 54 (1995), 166-170.
11. Kimura, T., Komatsu, A., Small Diameter Nozzle Plasma Arc as a Processing Tool, *Review of Scientific Instruments*, 63, (1992) 6, 3384-3388.
12. Yun, K.M., Na, S.J., Real-time Control of the Plasma Arc Cutting Process by Using Intensity Measurements of Ejected Plasma, *Welding Journal*, 70, (1991) 2, 43-48.
13. Manohar, M., Snyder II, J.P., Dross Formation During Plasma Arc Cutting of Steels, *Welding Journal*, 73, (1994) 11, 45-51.
14. Ural, M., Kaluç, E., Paslanmaz Çeliklerin Plazma Arkıyla Kesilmesi ve Birleştirilmesi, *Makina ve Metal Teknolojisi*, 52 (1996), 67-74.
15. Anonymous, Plasma Arc Cutting and Welding, *Welding Design and Fabrication*, June 1992, 23-56.
16. Anık ve Ark., *Termik Kesme Teknolojisi*, Gedik Eğitim Vakfı Kaynak Teknolojisi Eğitim, Araştırma ve Muayene Enstitüsü, Yayın No: 2, İstanbul 1996.
17. Okçu, C., Otomatik Kesim Teknolojisi, *Mühendis ve Makina*, Kaynak Özel Sayısı 2, Ocak 1995, 40-42.
18. DeGarmo, E.P., *Materials and Processes in Manufacturing*, 7th edition, Macmillan Publishing Company, New York, 1990.

Çelik Tel Halatlarda Tel Çapı ve Redüksiyon Oranının Yorulma Dayanımına Etkisi

M. Nedim Gerger
Yardımcı Doçent

Mustafa Tayanç
Yardımcı Doçent

Makina Mühendisliği Bölümü
Mühendislik-Mimarlık Fakültesi
Balıkesir Üniversitesi
BALIKESİR

Kaldırma ve iletme makinalarında kuvvet iletimi ve taşıma görevi yapan çelik tel halatların kullanım ömürleri büyük oranda yapıldığı malzemenin özelliklerine ve imalat şekline bağlıdır. Bu elemanların değişik parametrelere bağlı olarak ömürlerini belirlemek amacıyla günümüze kadar yapılan deneysel çalışmalarda, numunelerde işletme koşullarından farklı etkilenmelerin olduğu deney yöntemleri kullanılmıştır. Bu çalışmada halat yorulma ömrünün belirlenmesinde kullanılan standart bir deney yöntemi tel numunelere adapte edilmiştir. Bu yöntemle farklı çap ve redüksiyon oranlarında imal edilmiş tel numunelerin yorulma ömürleri bu iki parametreye bağlı olarak belirlenmiştir. Tel çapının küçülmesi ile yorulma ömrünün arttığı, redüksiyon oranına bağlı olarak bu ömrün değiştiği görülmüştür.

GİRİŞ

Çelik tel halatlar yüksek çekme dayanımlı soğuk çekilmiş ince çaplı çelik tellerden yapılır. Bu yapımda hedeflenen ana amaç, halatı değişik işletme koşullarında en iyi dayanımı sağlayacak konstrüksiyon ve kalitede imal etmektir. Kullanım alanlarının çoğunda halatlar çekme yükü altında tambur ve makaralara sarılarak çalıştırlırlarından, yıpranması ve/veya kopması, aşınma veya tekrarlı eğilme gerilmelerinden kaynaklanan yorulma etkisiyle oluşur. Bu nedenle halatın kalitesi, daha çok yorulma dayanımının büyüklüğüne bağlıdır. Bir halatın kalitesini dolayısıyla işletme ömrünü arttırmak onu oluşturan elemanların (tellerin) yorulma dayanımlarını arttırmakla mümkündür. Çelik halatlarda kullanılan tellerin yorulma dayanımları ise ana hatlarıyla aşağıdaki parametrelere bağlıdır.

İmalatla ilgili olanlar:

- . Telin kimyasal bileşimi
 - . Tel çapı
 - . Tel kesit şekli
 - . Yüzey kalitesi
 - . Soğuk çekmede % kesit azalması (%K)
 - . Yüzey kaplama durumu
- Kullanımla ilgili olanlar:
- . Tahrik ve ekipman tipi
 - . Makara malzemesi, çapı ve yiv şekli

- . Yüklemenin şekli ve büyüklüğü
- . Çevresel koşullar
- . Bakım

Halatların dayanımları konusunda günümüze kadar süre gelen çalışmaların içeriğine bakıldığında, bu parametrelerin çoğunun etkisi araştırılmış ve belirlenmiş olduğunu görmekteyiz.

Becker, tel imalatında (%K) kesit azalması yüzdesine bağlı olarak, telin iç yapısının değişimini incelemiştir. Kesit azalması yüzdesinin artmasıyla tellerin çekme dayanımlarının arttığını ifade etmiştir [2].

Bahke, 3.97 mm çapında ve bileşiminde % 0.71 C, % 0.68 Mn, % 0.11 Si bulunan telin, 3.97 mm'den 1.34 m/s'lik çekme hızında 12 pasoda 0.71 mm çapa çekilen telin farklı adımlarda yapılan deneylerde % K'ya bağlı olarak yorulma dayanımlarının arttığını ancak, yüksek oranlara doğru yaklaştıkça artış hızında azalma olduğunu bulmuştur [3].

Schenir ve çalışma arkadaşları, paslanmaz çelik ve kobalt-nikel alaşımli ince çaplı teller ve bu tellerle yapılan demetlerin yorulma deneylerinde, tellerin yorulma ömrü ile demetlerin ömrü arasında çok az farkın olduğunu ve teldeki deformasyonların çok küçük çaplı tellerin yorulma ömrünü çok az etkilediğini bulmuştur [4].

Raooof, büyük çaplı tel halatların tellerine yapılandırılan

strain-gauge'lere uygulanan aksenal çekme yükü ile yapılan yorulma deneylerinde diş tellerde kaymaların daha fazla olduğu, tellerin birbiriyle temasının yorulma ömrünü azalttığını göstermiştir [5].

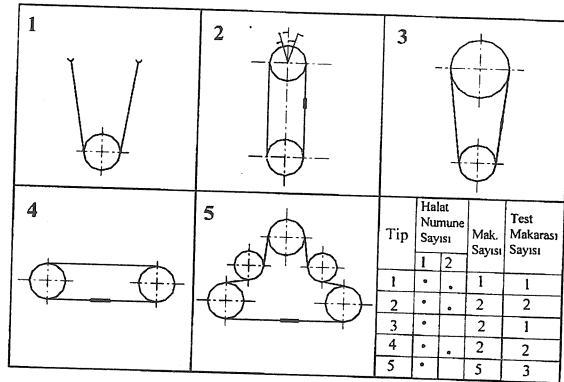
Halatlarla ilgili deneysel araştırmalarda büyük çaplı halatların işletme ömrünü etkileyen pek çok faktörü ya küçük boyutlarda halat numuneleri ya da tellerle ilgili olanları kısa numunelerle, çoğu işletme koşullarından uzak test yöntemlerinin kullanılmasıyla edinilen bilgilerin yeterli güvenliğe sahip olduğu kabul edilerek, hızlı ve ekonomik sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmalardan çıkan sonuçlara göre halatların işletme koşullarına uygun yorulma özelliklerini belirlemede eksiklikler olacaktır. Çünkü metallerin dinamik davranışları boyutsal ve test koşullarındaki değişimle büyük oranda değişirler [6].

Bu çalışmada çapları 0.4 - 2.85 mm arasında değişen farklı redüksiyonlarda soğuk çekme ile elde edilmiş teller, işletme koşullarına çok daha yakın bir deney düzeneği kullanılarak tel çapı ve redüksiyon oranının yorulma ömrüne etkisi incelenmiştir.

DENEY SİSTEMATIĞI

Uygulanan Deney Düzeneği

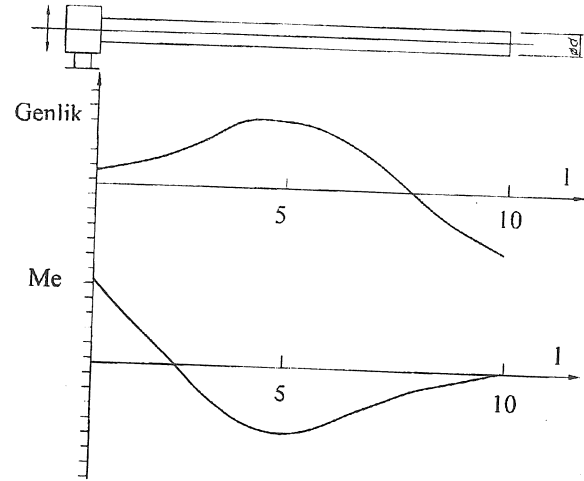
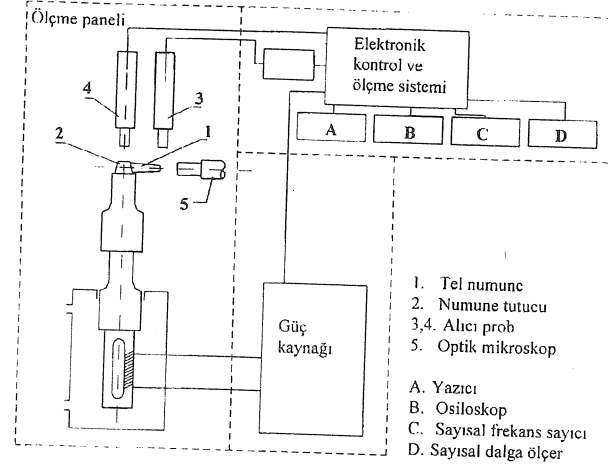
Laboratuvarlarda, işletme koşullarına uygun ortam ve yüklemeler altında yapılan deneylerle çelik tel halatların işletme ömürlerini, dolayısıyla kalitesini önceden belirlemek mümkündür. Bir halatın kopuncaya kadar dayandığı yük tekrar sayısı, halatın işletme ömrünün ölçütü olarak kullanılabilir. Yük tekrar sayısı ise halatın çekme yükü altında makara veya tamburlara sarılırken maruz kaldığı eğilme sayısıdır. Bu ilkedan hareketle halatların yorulma deneylerini, bir veya birkaç halat numunesini çekme yükü altında bir veya birkaç makara üzerinden tekrarlı veya dönüşümlü olarak geçirmekle yapabiliriz. Bu deneysel yöntemlerde,



Şekil 1. DIN 53100'e göre eğilme-yorulma deneyi için farklı test prensipleri

kopuncaya kadar yüke maruz bırakılan veya bozulan halat ölçüt alınarak, çeşitli test şartları altında halatın dayanım süreleri belirlenebilir. Bu amaçlar için kullanılan eğilme - yorulma deneyi prensiplerinin şematik resimleri Şekil 1'de verilmiştir.

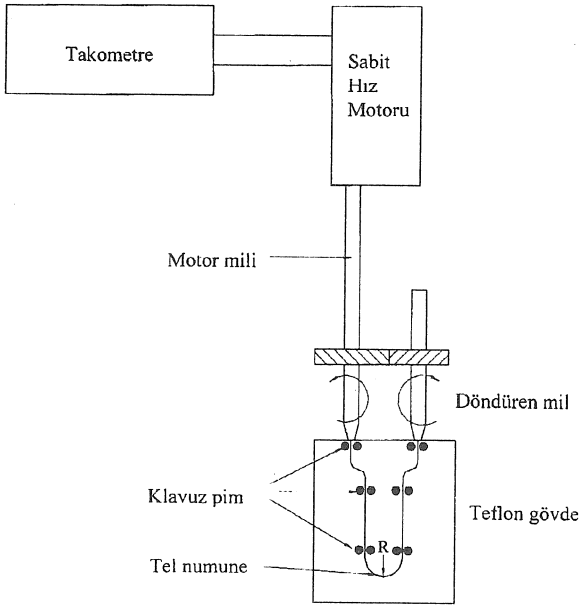
Halat yorulma ömrünün belirlenmesi için kullanılan bu test yöntemleri çok az değişikliklerle, tek tek teller için de uygulanabilir. Ancak, tellerle ilgili günümüze kadar yapılan deneysel çalışmaların çoğunda bu yöntemlerden farklı ve test süreleri kısa olan yöntemler kullanılmıştır. Şekil 2a ve 2b'de bu amaçla daha önce kullanılmış olan test yöntemlerinin şematik resimleri verilmiştir [4,7].



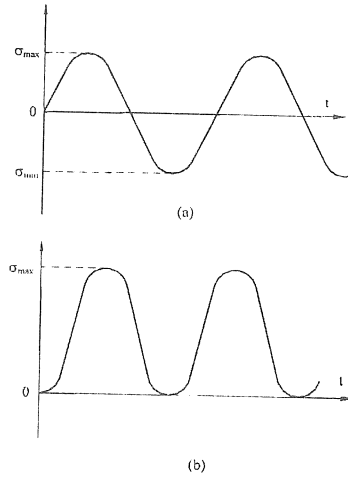
Şekil 2a. Yüksek frekans deney yöntemi ile bir tel numunesinin eğilme zorlanması [7]

Bu yöntemlerdeki eğilme frekanslarının yüksek oluşu, deneylerin kısa süreli olması avantajını sağlar. Fakat, yüksek eğilme frekansları numunelerde ömrü olumsuz etkileyen ısınmalara sebep olur. Ayrıca gerçek işletme koşullarından uzak yöntemlerdir. Çünkü, halatlar kullanıldığı yerlerde çok yüksek hızlarda tahrik edilmezler. Özellikle kesintili çalışmalarda (örneğin, krenlerde) yükleme ve boşaltmalarda halatlar ivme kuvvetlerine de maruz kalırlar. Ayrıca, yukarıda bahsedilen deneylerde numuneler tam değişken gerilmeye (σ_{TD}) maruz kalmaktadırlar. Oysa halatlar, işletmelerdeki tambur veya makaraya sarılıp çözülme sırasında, titreşimli gerilme (σ_T) altında zorlanırlar (Şekil 3). Değişken zorlanmalar altındaki malzemelerin dayanım sınırlarını veren sürekli mukavemet diyagramlarından da görülebileceği gibi, tam değişken gerilme altında zorlanan elemanların dayanımı daha düşüktür (Şekil 4).

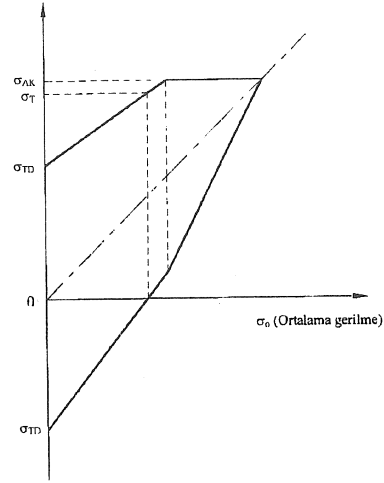
Bu deneysel çalışmada uzun deney süreleri dezavantajı yanında işletme şartlarına benzer olarak tasarımılanan deney düzeneği kullanılmıştır. Şekil 5'te bu düzeneğin şematik resmi verilmiştir. Tahrik grubu olarak; 3 kW güç ve 1430 d/dak.'lık elektrik motoruna bağlı 0-120 d/dak arasında kademesiz ayarlanabilen bir varyatör ve dönme hareketini öteleme hareketine dönüştüren krank-biyelden oluşmaktadır. Numuneler, gövde üzerine takılı bir yorma makarası üzerinde tekrarlı eğilmeye zorlanacak şekilde bağlanmıştır. Numunelerin hangi yük tekrar sayılarında koptuğunun belirlenmesi için mekanik bir sayıcı kullanılmıştır.



Şekil 2b. Kas arası elektrolarda kullanılan ince çaplı çelik tellerin yorulma deney düzeneği [4]



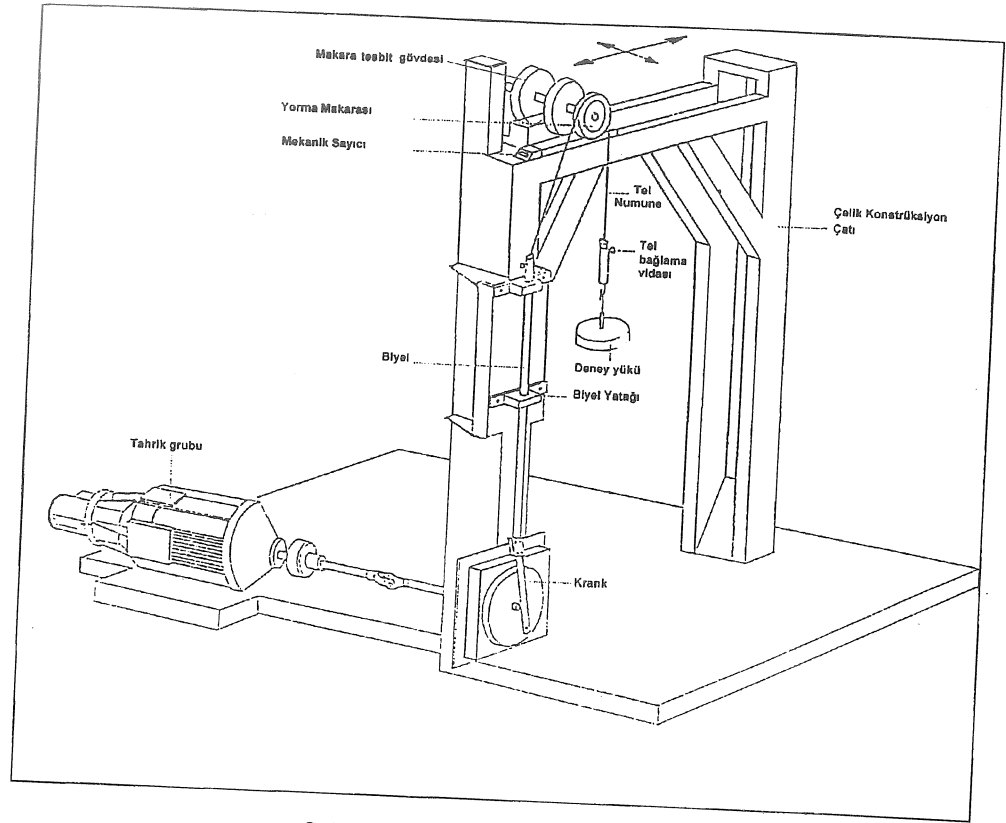
Şekil 3. Tel numunelerinin zorlanma şekil (a) Tam değişken zorlanma (b) Titreşimli zorlanma



Şekil 4. Çelik malzemelere ait sürekli mukavemet diyagramı

DENEY NUMUNELERİ

Halat imalatında kullanılan teller 1300, 1600 ve 1800 N/mm² 'lik standart çekme dayanımlarına sahip olarak üretilmektedir. Kullanım yerinin özelliklerine ve müşteri isteklerine göre imal edilen halatlarda, istenilen tel dayanımına ulaşmak, telin belirli bir kimyasal bileşime sahip olması yanında, özellikle soğuk çekme sırasında uygulanan redüksiyon oranına da bağlıdır. Bu özellikler gözönüne alınarak, deneyde çapları 0.4 - 2.85 mm ve boyları yorma makarası büyüklüğüne bağlı olarak değişen, karbon içerikleri % 0.08, % 0.65, % 0.70 ve farklı % kesit azalmasına sahip soğuk çekilmiş teller kullanılmıştır. Numuneler Çelik Halat ve Tel Sanayii (İzmir) Fabrikası'ndan üretim özelliklerine göre seçilmiş ve alınmıştır.



Şekil 5. Kullanılan deney düzeneği

NUMUNELERİN YÜKLENME ŞEKLİ

Deneysel çalışmada numuneler, çekme yükü ile tel kesitinde oluşan ortalama gerilme (Eşitlik 1) ve yorma makarası üzerinde meydana gelen eğilme nedeniyle Hook kanununa göre hesaplanan değişken gerilmeye (Eşitlik 2) maruz kalmaktadır.

$$\sigma_0 = F_c / A \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

$$\sigma_g = E \frac{d}{D} \quad (N/mm^2) \quad (2)$$

Burada;

F : Tel ucuna asılı yük (N)

A : Tel kesiti (mm²)

d : Tel çapı (mm)

D : Makara çapı (mm)

E : Telin elastisite modülü (N/mm²)

Bunların dışında yükleme hızına bağlı olarak ivme kuvvetleri de oluşacaktır. Tellerin yüklenmesinde değerlendirilmeye alınmayan bu kuvvetten dolayı tel kesitinde oluşan gerilmeyi elimine etmek mümkün değildir. Ancak eğilme frekansının (devir sayısının) küçük tutulması ile minimuma indirmek mümkündür. Deneyde işletme koşullarına yakın hızlar kullanılarak, oluşan ivme kuvvetinin gerçek yüklemelere yakın

olması sağlanmıştır (Halatlar ortalama 1 m/s hız ve gerilme değeri $\sigma_k/20$ olacak şekilde yüklenirler).

DENEYLERİN YAPILIŞI

Tel çapı (d) - Ömür (N) ve Kesit azalması yüzdesi (% K) - Ömür (N) ilişkilerini belirlemek için yapılan deneylerde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Tel Çapı - Yorulma Ömrü İlişkisi

Sabit % 91'lik kesit azalması değerine sahip % C içerikleri 0.08, 0.65 ve 0.70 olan farklı çaplardaki tellerin aynı değişken (σ_g) ve ortalama (σ_0) gerilmeleri etkisi altında yapılan deneylerle $N = f(d)$ ile gösterilebilen yorulma ömrü-tel çapı ilişkisi araştırılmıştır. Yorulma makaralarının çapları değiştirilerek farklı çaplardaki tellerin aynı değişken gerilme ile zorlanmaları sağlanmıştır (Eşitlik 2). Numunelerde sabit ortalama gerilme değeri oluşturmak için de tel çaplarına göre hesaplanan farklı deney yükleri kullanılmıştır (Eşitlik 1). Farklı karbon oranlarındaki tellerin her bir çap değeri için, sonlu ömür bölgesinde yüklemelerle yapılan deneylerden elde edilen yük tekrar sayıları ortalaması alınmış (Tablo 1) ve en küçük kareler yöntemini kullanan bir regresyon analizi yazılımı yardımıyla ortalama yük tekrar sayısı ve çap arasındaki ilişki çizilmiştir (Şekil 6).

Veriler arasında, doğrusallık ilişkisi r^2 (korelasyon katsayısı) sırasıyla, 0.9875, 0.9296 ve 0.8711'dir. Doğru eğimlerinin birbirine yakın oluşu, çap ve yük tekrar

Tablo 1. Farklı karbon oranlarında, değişik tel çaplarına karşılık gelen kopma yük tekrar sayılarının ortalama değerleri.

% C=0.08		% C=0.65		% C=0.7	
Tel çapı, d (mm)	Yük tekrar sayısı, N	Tel çapı, d (mm)	Yük tekrar sayısı, N	Tel çapı, d (mm)	Yük tekrar sayısı, N
0.8	3967	0.8	4621	0.9	5562
1	3658	1	4584	1	5158
1.21	3471	1.41	4295	1.21	4839
1.5	3712	2	3320	1.48	4672

sayısı arasındaki değişimin karbon oranından bağımsız olduğunu göstermektedir. Elde edilen sonuçlar, tel çapı-yorulma dayanımı ilişkisini belirlemek için yapılmış önceki çalışmaların [7] sonuçlarını doğrular niteliktedir. Ancak, bu çalışmanın sonuçlarına göre, tel çapının küçülmesiyle sağlanan yorulma dayanımı artışı oranı daha küçük çıkmıştır.

Soğuk Deformasyon Oranı - Yorulma Ömrü İlişkisi

Bileşiminde % 0.70 C bulunan ve çapları 2.60 - 2.85 mm arasında değişen, % kesit azalması (% K) değerleri 9, 16, 22, 24.9, 30.5, 44, 68, 71 ve 87 olan tel numuneler ile sabit bir gerilme değeri altında yapılan deneylerin sonuçları Şekil 7'de verilmiştir. Farklı redüksiyonlarda, aynı bileşim ve çapta tel numunelerin elde edilmesinin

güçlüğü nedeniyle deneyde, çapları farklı teller kullanılmıştır. Numunelerin yüklenmesi tel çapına göre ayarlanmış ancak, çap farklılığından kaynaklanan ömür değerindeki değişim gözönüne alınmamıştır.

Kesit azalması yüzde değerleri (% K), 9'dan 24'e çıktığında ömür değerlerinde artış oranının oldukça yüksek olduğu, 24'den 68'e kadar bu artış oranının yavaşladığı görülmüştür. Daha yüksek redüksiyon oranlarında ise ömür değerlerinde azalma olduğu tespit edilmiştir. Konu ile ilgili benzer çalışmalarda % K değerlerinin artışı ile tel çekme dayanımının devam ettiği ancak, aşırı pekleşme ile oluşan kırılma, anizotropik yapı ve iç gerilmelerde homojen olmayan dağılımların yorulma dayanımını olumsuz etkilediği belirtilmiştir [3].

SONUÇLAR

Halat dayanımı, halat imalatında kullanılan çelik tellerin kimyasal bileşimine bağlı olmasının yanında, bu dayanımı etkileyen imalat parametrelerinin uygun seçilmesine de bağlıdır. Bu parametrelerden tel çapı (d) ve kesit azalması yüzdesinin (% K) etkisinin belirlenmesi için yapılan araştırmaların sonunda;

1. Tel çapları küçüldükçe yorulma ömrünün arttığı bulunmuştur. Dolayısıyla büyük çaplı az sayıda tel yerine, küçük çaplı çok sayıda tel kullanılarak yapılan halatın işletme ömrü daha yüksek olacaktır.

2. Tellerin kesit azalması yüzdesi (% K) arttıkça, yorulma dayanımının arttığı görülmüştür. Ancak belirli bir sınırdan sonra (tellerin çekme dayanımlarında artışın devam edeceği belirtildiği [2] halde) yorulma dayanımlarında azalma oluşmaktadır.

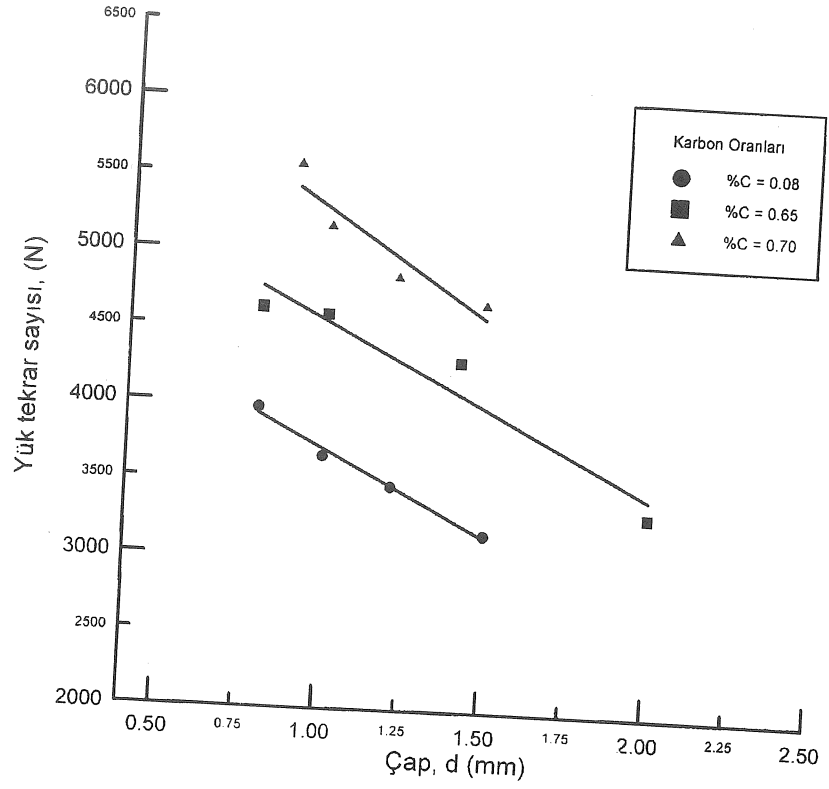
Deneylerden elde edilen bulgulara göre; halatların salt çekme dayanımının halat ömrü için yeterli bir göstergesi olmadığı görülmüştür. Özellikle yüksek çekme dayanımlı halat talebinde bu hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde, yapıya bağlı olarak artan çekme dayanımı, yorulma dayanımı için dezavantaja dönüşebilir. Hangi % K değerinde ömür artışının dezavantaja dönüşeceği kesin olmamakla birlikte, bu ve daha önceki çalışmaların ışığında % K oranının yaklaşık % 70 civarında olabileceği sonucuna varılmıştır.

THE EFFECT OF WIRE DIAMETER AND REDUCTION RATE OF STEEL WIRE ROPES ON FATIGUE LIFE

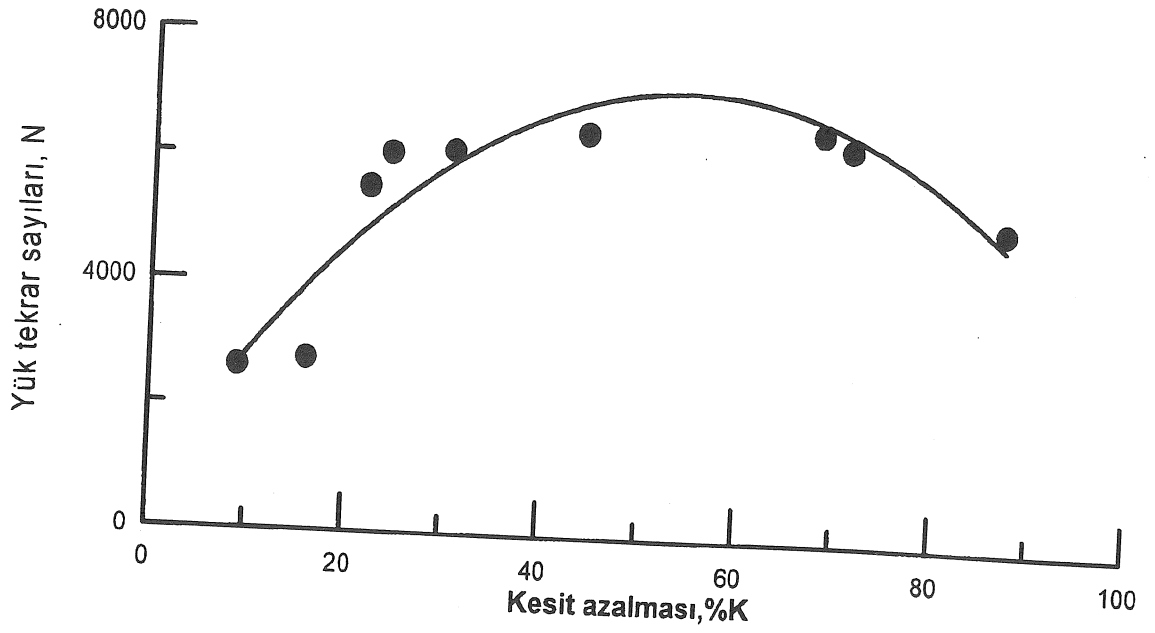
Service life of steel wire ropes which carry out the conveying and force transmitting function in transport machines, heavily depend on the material characteristics and manufacturing methods of the steel wire rope. The methods, which most closely simulates the real working conditions, have been used in order to define the service life. In this study, a standardized experiment method used to define of a steel rope fatigue life is adopted to steel wire specimens. In this method, the working life of wire specimens manufactured in different diameters and reduction rates is tried to define devoted to these two parameters. It is observed that the fatigue life of the steel wires increase with the decrease of wire diameter and change with reduction rate.

KAYNAKÇA

1. Tayanç, M., *Soğuk Çekilmiş Çelik Halat Tellerinin Yorulma Davranışlarının İncelenmesi*, Doktora Tezi, U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1990.
2. Becker, K., *On the Fatigue Strength of Rope Wires Influence on the Service Life of Hoisting Ropes*, *Wire*, n. 2, p. 52-55, Mar., 1979.



Şekil 6. Tel çapı yük tekrar sayısı ilişkisi



Şekil 7. Kesit azalması yüzdesi (% K) ve yük tekrar sayısı (N) arasındaki ilişki

3. Bahke, E., Principles Defining Strength of Wire Ropes and Chains, *Wire*, v. 30, n. 2, p. 54-56, Mar. - Apr., 1980.
4. Schenier, A., Mortimer, J.T., Kicher, T.P., Study of the Fatigue Properties of Small Diameter Wires Used in Intramuscular Electrodes, *Journal of Biomedical Materials Research*, v. 25, n. 5, p. 589-608, May., 1991.
5. Raof, M., Axial Fatigue of Multilayered Strand, *Journal of Engineering Mechanics*, v. 116, n. 10, p. 2083-2099, Oct., 1990.
6. Raof, M., Free Bending Fatigue of Axially pre-loaded Spiral Strands, *Journal Strain Analysis for Engineering Design*, v. 27, n. 3, p. 127-136, 1992.
7. Kawecki, Z., Oleksy, W., Ultrasonic Testing of Steel Wire in Optimising Quality, *Wire Industry*, v.51, n. 604, p. 241-244, Apr., 1984.

Dönel Makina Parçalarının Eksenel Simetrik Unsurlarla Modellenmesi

Suat Çelik
Öğretim Görevlisi
Uçak Gövde Programı
Sivil Havacılık M.Y.O.
Erciyes Üniversitesi
38039 KAYSERİ

H. Rıza Börklü
Doçent
Makina Eğitimi Bölümü
Teknik Eğitim Fakültesi
Gazi Üniversitesi
06500 ANKARA

Geleneksel BDT sistemlerinde düşük düzeyli elemanlar ile yapılan modellerin fonksiyonel bilgi içermemesi, BDT/BDÜ sistemleri arası boşluğun kapatılmasını engellemekteydi. Bu durumun saptanması ile başlayan unsur tabanlı tasarım alanındaki araştırmalar, günümüzde de sürmektedir. Unsur; "bir parçadaki geometrik, topolojik ve fonksiyonel elemanların; tasarım, analiz ve üretimde en uygun kullanılacak şekilde yüksek seviyeli bir gruplandırılması" olarak tanımlanabilir. Unsur yaklaşımı; tasarım niyetini koruma, tasarımdan otomatik üretime geçme ve zeki tasarım sistemi geliştirme gibi bazı avantajlar sağlanmaktadır. Bu makalede, unsur tabanlı modelleme konusunda yürütülen bir araştırma çalışması özetlenmekte ve bu amaçla geliştirilen bir yazılım paketi tanıtılmaktadır. Bu paket program; unsur kütüphanesi, basit bir dil söz dizimi, kullanıcı arabirimi ile analiz ve gösterim araçlarından oluşmaktadır. Bu paket programı kullanan bir tasarımcı, eksenel simetrik dönel parçaların unsur tabanlı modellerini kolayca oluşturabilmekte ve geliştirebilmektedir.

GİRİŞ

Henüz tam anlaşılabilmiş olmamakla birlikte tasarımın, oldukça karmaşık ve yüksek dereceli yaratıcılık gerektiren bir faaliyet şekli olduğuna inanılmaktadır. Tasarım işlemi; "fonksiyonel uzayda belirtilen ihtiyaçları en uygun karşılayacak ürünün fiziki çözüm uzayında tam bir tanımını yapabilmek için yürütülen tüm faaliyetler" olarak tanımlanabilir. Problem tanımından başlayan bu işlem; kavramsal, şekillendirme ve ayrıntılı tasarım aşamalarını da içeren bir döngü şeklinde gelişir ve genelde tatminkar bir çözüm elde edilene dek sürer (eğer çözüm varsa).

Tasarımda bilgisayar kullanımının başlangıç noktası, etkileşimli bilgisayar grafik ve hatta sayısal bilgisayarlara kadar uzanmaktadır [1]. Bilgisayar grafik yazılımının ilk teorik temeli, 1963 yılında ortaya konulmuştur [2]. Bunu izleyen ilk on yılda, iki boyutlu bir çok bilgisayar destekli çizim yazılım ve donanımı geliştirilmiştir. 1970'lerin sonlarına doğru çeşitli geometrik modelleme yaklaşımlarının geliştirilmesi ve bazı mühendislik analiz işlemlerinde kullanılmaya başlanması, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT) alanında büyük değişimlere sebep olmuştur [1]. Geometrik modelleme teknikleri (özellikle yüzey ve katı modelleme), parça geometrisi hakkında tam bir veri temsili sağlamakla birlikte tasarım ve üretim arası

otomasyonda yetersiz kalmıştır [3]. Çünkü; geometrik model oluşturulmada kullanılan düşük düzeyli temel elemanlar, ileri aşamalarda yapılacak işlem planlama, CNC kodu üretime gibi işlemler için gereken fonksiyonel bilgileri içermemektedir. Bu eksikliğin anlaşılması ile, tasarım, üretim veya mühendislikte bir anlam ifade eden; pah, fatura, kama kanalı gibi yüksek seviyeli standart bir iletişim aracı ve/veya bir temsil tekniği üzerinde durulmuş ve böylece, unsur (feature) kavramı doğmuştur [3, 4]. Tek, tam ve yanlış yorumsuz bir tanım sağlayan unsur, sadece geometrik ve topolojik verileri değil; aynı zamanda toleranslar, malzeme veya yüzey işlemleri gibi fonksiyonel bilgileri de içermektedir [4, 5]. Unsur konusunda yürütülen araştırma çalışmaları, 1980'lerden günümüze kadar süregelen ve bazı ticari BDT, BDT/BDÜ (BDT/Bilgisayar Destekli Üretim) ve BDM (Bilgisayar Destekli Mühendislik) sistemlerinde uygulanmaya başlanmıştır. Örnek olarak I-DEAS gösterilebilir [6]. BDT/BDÜ arası boşluğun doldurulması ve tasarımdan üretime geçişte otomasyon sağlanması, unsur temelli modelleme yaklaşımının ana amacıdır.

Bu makale, unsur tabanlı tasarım konusunda yürütülen bir araştırma çalışmasını özetlemekte ve bu amaçla geliştirilen deneysel bir yazılım paketi "Geometrik Unsur Tabanlı Tasarım" (GUTAT) sistemini tanıtmaktadır [7]. Makalenin diğer kısımları

şu şekilde organize edilmiştir: Bir sonraki Kısım kapsamında, unsurun tanım, tanıtım ve sınıflandırılması verilecektir. Unsur tabanlı tasarım amaçlı geliştirilen program mantığı, kullanım şekli ve tasarım sınırları, 3. Kısım'da açıklanacaktır. Son Kısım'da ise, araştırma bulguları ile ileride yapılacak araştırmalar özetlenecektir.

UNSUR TABANLI TASARIM

Unsurun Tanım ve Tanıtımı

Genelde düşük seviyeli tasarım bilgisinin özleştirilmesi olarak kabul edilen unsurun, araştırmacılar arası kabul edilmiş tek ve geçerli bir tanımı bulunmamaktadır [5, 8, 9]. Bu, her bir araştırmacının değişik bir konuyu önde tutması ve konuya farklı bir bakış açısı ile yaklaşmasından kaynaklanmaktadır (tasarım, montaj, işlem planlama, üretim gibi). Unger ve Ray [10], unsuru; "bir parçadaki geometrik, topolojik ve fonksiyonel elemanların; tasarım, analiz ve üretimde en uygun kullanılacak şekilde yüksek seviyeli bir gruplandırılması" olarak tanımlamaktadır. İki yeni kitap ise [11, 12], unsurları; bir parça üretiminde önemli ve birbiri ile ilişkilendirilmesi gereken topolojik eleman grupları olarak tanıtmaktadır. Buna göre unsurların, alan bağımlı ve uygulama uyarlı olduğu belirtilebilir. Böylece parça; tasarım, üretim, gerilme analizi v.b. gibi çeşitli uygulamalarda farklı unsur kümeleri cinsinden belirtilecektir.

Geleneksel modelleme sistemleri kullanılarak tasarlanan ürünler, parça fonksiyonu hakkında tasarım niyetini yansıtmamaktadır [9, 13]. Örneğin, bir mil üzerinde oluşturulan prizmatik bir boşluk, parça üzerinde bir çukur meydana getirirken; bu işlemin tasarımcı zihnindeki anlamı, bir kama kanalı olacaktır. Ancak bu mühendislik yorumu, bu noktada kaybolacaktır. Tasarım niyeti, tasarımı izleyen işlem planlama, takım seçimi v.b. işlemlere yardımcı olacağından kaybolmaması gerekir. Unsur tabanlı tasarım yaklaşımı, tasarım niyetini tam olarak koruma ve saklamada bir çözümdür. Böylece bu metod, geleneksel modelleme araçlarının gelişmiş bir şeklidir [9]. Unsur tabanlı modelleme konusunda yapılan çalışmalar, üç temel yaklaşıma ayrılmaktadır. Bunlar [5, 7, 14]:

• mevcut katı modellerden (CGS - Yapısal Katı Modelleme - ve Brep - Sınır temsili - ile tanımlı) unsur çıkartma

- başlangıçta unsur tabanlı tasarım ve
- yukarıdaki iki yaklaşımın birleştirilmesi.

Katı modellerden unsur çıkartılmasında, yüzey işleme veya toleranslar gibi mevcut olmayan bilgilerin elde edilmesi mümkün değildir. Ayrıca çok basit unsurların bile elde edilmesinde kullanılan algoritmalar, oldukça karmaşık ve hata eğilimlidir. Unsur tabanlı tasarım, tasarım işlem verimliliğini artırmakla birlikte, tasarım sistemi ifade yeteneğini kısıtlamaktadır. Böylece tasarımın, her zaman tek bir yorumu

olmaktadır. sadece tek bir yaklaşıma bağımlı kalınması yerine yukarıdaki ilk iki yaklaşımın birleştirilmesi ve birlikte kullanılması en uygun yol görülmektedir [5, 9, 13].

Unsur yaklaşımı, STEP'in (STandard for Exchange for Product data) geliştirilmesini desteklemek amacıyla da kullanılmıştır [9]. STEP, diğer kolaylıklarla birlikte EXPRESS (ISO 10303 - 11) adlı bir bilgisayar dili sağlamaktadır. Bu dil, STEP uyumlu ürünler yaratılırken bilgi modellemede kullanılmaktadır. Unsurlar, Biçim Unsur Bilgi Modelleri (BUBM) aracılığı ile değiştirilebilmektedir. BUBM'la ilgili bazı olumsuzluklar [9]; unsur konumlama yetersizlikleri, bazı basit biçim temsil güçlükleri ve nümerik hassasiyetsizliklerle birlikte veri değişimi esnasında unsur ilişkilerindeki kayıplar şeklinde belirtilebilir. Bu olumsuzlukların ana sebeplerinden birisi de, bilimsel çevrelerce kabul edilmiş tek ve geçerli bir unsur tanımının bulunmaması ve unsurların, uygulama bağımlı olması gösterilebilir. Diğer bir neden ise, ISO 10303'ün bazı kısımlarının hala tamamlanmamış olmasıdır.

Unsur tabanlı tasarımla ilgili diğer bir problem ise, tasarımcının unsur kütüphanesinde bulunan ve önceden tanımlı unsurlarla sınırlı uzayda tasarım yapmasıdır [5, 7, 9]. ayrıca bu kütüphane kullanımının oldukça fazla üretim bilgisine ihtiyaç göstermesi ve erken tasarım aşamalarında bile zaman zaman üretim kararları gerektirmesi, diğer bir olumsuzluktur. Bazı durumlarda ise, tasarım ve üretim unsurları arasında, bire bir ilişki olmayabilir. Makina resimlerinin, her zaman unsurlar cinsinden tanımlanamayacağı da (ki bu, gerekli de değildir) belirtilmelidir. Ayrıca döküm veya pres şekillendirme ile üretilecek kompleks parçaların tam modellenmesi, unsur tabanlı tasarım tekniği ile güç olabilir. Araba gövdeki gibi karmaşık yüzeyli parçalarda da, unsur tabanlı tasarım uygun olmayabilir.

Unsurları Sınıflandırma

Unsur kavramı; pahlar, kama kanalları gibi geometrik biçim unsurları ile başlamış olmakla birlikte zaman içinde kapsamı oldukça fazla genişlemiştir [7]. Yukarıda da belirtildiği gibi konunun araştırmacılar tarafından değişik açılardan değerlendirilmesi ile, çeşitli unsur sınıflandırılmaları yapılmıştır. Örneğin van Emmerik [15], unsurları; biçim unsurlar (örneğin pah, fatura), patern unsurlar (örneğin dairesel, dikdörtgen patern), birleştirme unsurları (örneğin geometrik sınırlayıcılar, toleranslar), özellik unsurları (örneğin yüzey işleme kalitesi, yüzey ısıl işlemi) ve uygulama unsurları (örneğin montaj sırası, eş zamanlı bağlama) olmak üzere beş grupta değerlendirmektedir. Fu ise [4], uygulama unsurlarını, şu beş gruba ayırmaktadır: tasarım unsurları (fonksiyonel gereksinimleri karşılayan geometrik biçim), analiz unsurları (çeşitli analiz işlemlerini kolaylaştırmak için gerçek geometrinin bazı temel elemanlar cinsinden idealleştirilmesi), tolerans ve kalite kontrol unsurları (parça veya montajın değişebilir modelinin oluşturulması), üretim ve talaşlı işlem

unsurları (dönel, prizmatik ve saç metal olmak üzere takım tezgahları ile yapılan temel işlemler) ve montaj unsurları (monte edilecek parçaların birleşme ilişkilerinin tanımlanması). Zhu ve arkadaşları [16] tarafından tanımlanan unsur model, şu beş gruptan oluşan bilgi kümeleridir: yönetim unsurları (örneğin Grup Teknoloji kodu), malzeme unsurları (örneğin özellikler/tanımlar, malzeme yüzeyine uygulanan ısı işlemler), hassasiyet unsurları (örneğin toleranslar, yüzey kalitesi), biçim unsurlar (örneğin fonksiyonel, montaj desteği) ve teknolojik unsurlar (örneğin performans parametreleri, operasyon değişkenleri, tasarım sınırlayıcıları). Chen ve Wu [17], temsil şekline göre biçim unsurlarını; yüzey unsurları (unsuru tanımlayan yüzey kümesi) ve hacim unsurları (unsuru oluşturmada kullanılan basit bir katı) olmak üzere iki gruba ayırmaktadır.

Ayrıca uygulama alan ve şekline bağlı olarak; hacim kalıpcılığı tasarımı [18], iş kalıpları tasarımı [19, 20], pres takım tasarımı [21], saç metal parça tasarımı [22, 23], kaynakla imal edilecek parça tasarımı [24], kompozit malzemeden oluşan parçaların tasarımı [25] ve teknik resimden unsur modeller oluşturma [26, 27] gibi unsur sınıfları ve/veya unsur tabanlı araştırma çalışmaları da kaynaklarda yer almaktadır.

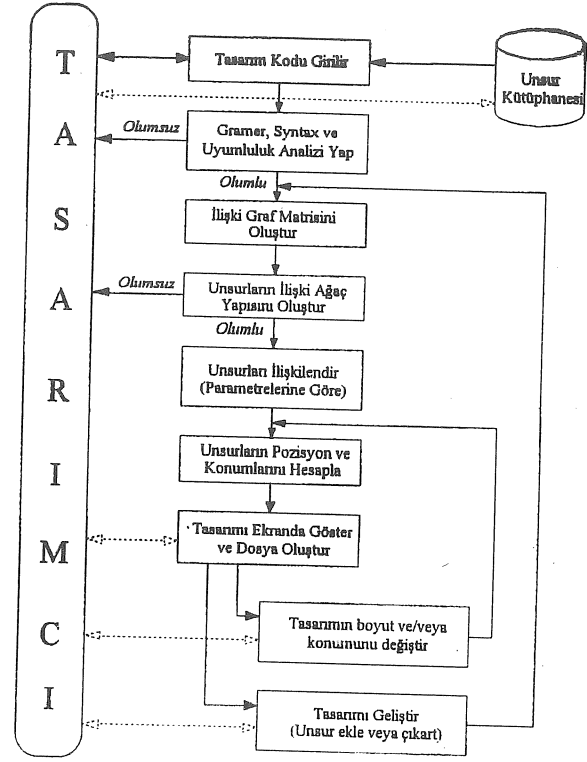
Bu çalışma kapsamında ele alınan unsurlar, şimdilik geometrik unsurlardan seçilen ondokuz unsuru içermektedir. Bu unsurlar, genelde eksenel simetrik unsurlardır.

GEOMETRİK UNSUR TABANLI TASARIM PROGRAMI - GUTAT

Programın Yapısı ve Kullanılması

Geometrik unsurlar ile makina parçalarının modellenmesi, bir araştırma çalışması olarak ele alınmış ve bu amaçla kullanılacak bir bilgisayar paket programı geliştirilmiştir (GUTAT) [7]. Bu programın geliştirilmesinde Quick BASIC ve Visual BASIC dilleri, bir arada kullanılmıştır. Bu program; unsur kütüphanesi, basit bir dil söz dizimi (syntax), kullanıcı arabirimi, analiz ve gösterim araçlarından oluşmaktadır. Geliştirilen bu programın bir tasarımcı tarafından nasıl kullanılacağını gösteren bir akış şeması, Şekil 1'de görülmektedir.

Unsur kütüphanesi, istenildiğinde parametrik tanımla kullanılabilen standart ondokuz temel unsuru içermektedir (istenildiğinde kütüphaneye yeni unsurlar eklenebilmektedir). Bu unsurlar, dil söz dizimi ile tanımlanarak veya etkileşimli olarak, unsur modeller oluşturmada kullanılabilir. *Dil söz dizimi*, unsurların basit ve hiyerarşik bir şekilde parça modellemesinde kullanımını sağlar. Etkileşimli (tek tek ve sıralı) veya herhangi bir editör kullanılarak unsur tabanlı model tanım dosyasının hazırlanması şeklinde kullanılabilir. *Kullanıcı arabirimi*, tasarımcının GUTAT'la iletişim kurması, model geliştirmesi veya analizi gibi işlemler yapmasına destek sağlar. *Analiz ve gösterim araçları*; unsur tabanlı tasarım tanımlarının



Şekil 1. Unsur tabanlı programın çalışma yapısı

söz dizim, gramer ve uyumluluk analizlerini yapar. Ayrıca modelin ekranda, istenilen konum ve boyutta gösterimini sağlar.

Yeni bir makina parçasını modellemek isteyen tasarımcı, ya GUTAT sistemi içinde etkileşimli veya GUTAT dışında bir editör kullanarak (DOS editörü gibi) unsur tabanlı tasarım dosyası oluşturabilir. GUTAT dışında bir editörle hazırlanan tasarım dosyasının sisteme yüklenmesinden sonraki analiz ve görüntüleme işlemleri, GUTAT'la tasarım kod tanımını izleyen işlemlerle aynı şekilde yapılır. Tasarım tanım kodunun girilmesinden sonra sistem, bu kodu, gramer, söz dizimi ve uyumluluk açısından analiz eder. Analiz sonucunda belirlenebilecek olumsuzluklar, kullanıcıya rapor edilerek düzeltilmesi istenir. Analiz işleminin tamamlanmasından sonra, hiyerarşik unsur ilişki ağaç yapısının elde edilmesinde kullanılacak ilişki dizge (graf) matrisi oluşturulur [28]. İlişki ağaç yapısı, modelde yer alan unsurların kolay ve hızlı bir şekilde birleştirilmesine destek sağlar. Editörle yapılacak tanım dosyalarında bulunabilecek olası ilişki hataları da rapor edilir (bu hataların düzeltilmesi gerekir). Daha sonraki basamaklarda GUTAT, tanım dosyasında bulunan unsurların parametrik tanımlarına göre ilişkilerini yaparak pozisyon ve konumlarını hesaplamaktadır. Böylece unsur tabanlı modelinin, ekranda görüntülenmesi, boyut veya konumunun değiştirilmesi ve geliştirilmesi mümkün olabilecektir. Unsur ekleme / çıkartma işlemleri de yapılabilmektedir. Hazırlanan bir dosya, sürekli kayıt ortamında (disket gibi) saklanarak istenildiğinde çağrılabilen ve yeni tasarımlarda kullanılabilir.

Programın Dil Söz Dizimi

GUTAT unsur kütüphanesinde bulunan temel unsurların parça tanımında kullanılması için geliştirilen basit bir dil söz dizimi, Şekil 2'de görülmektedir. Bu söz dizimin "%" ile başlayan satırları, yorum ve açıklama satırlarıdır. "Parça" kelimesi ile başlayan ve "{...}" parantezleri arasında bir parçanın unsur tabanlı tanımı yapılmaktadır. İlk satırlarda, parçaya ait isim (parçaya verilecek), yerleşim (parçanın ekrandaki konumu veya global koordinat sisteminin yeri) ve dönme (parçanın dönme açısı), yer almaktadır.

```
% Açıklama_1
% Açıklama_2
Parca { isim (Parça_İsmi)
      yerleşim ( x , y )
      dönme ( açı )
      Unsur { isim (Unsur_İsmi)
            ilişki (Unsur_İsmi, İlişki_Yönü)
            yerleşim ( x , y )
            boyut ( Unsur_Boyut_Parametreleri
            )
      }
}
```

Şekil 2. GUTAT unsur tanım söz dizimi

Daha sonraki satırlarda "Unsur" kelimesi ile başlayan ve "{...}" parantezleri içinde yer alan program parçacıklarında, parça modellenmesinde kullanılacak unsur tanımları bulunmaktadır. Burada "{...}" parantezleri arasında her unsura ait; isim (unsur kütüphanesindeki ondokuz unsurdan birinin adı), ilişki (model üzerinde ilişkilendirilecek unsur ismi ve yönü), yerleşim (ilişkili olduğu unsur üzerindeki bölgesel koordinat değerleri) ve boyut (unsurun parametrik boyut değerleri) parametreleri ile tanımlanmaktadır.

Unsur Kütüphanesi

Mevcut hali ile GUTAT programının unsur kütüphanesi, altı ana başlık altında sınıflandırılmış olan örnek ondokuz unsuru içermektedir. Bu unsurlar;

- Mil unsurları; (1) düz (silindirik yüzey), (2) konik (konik yüzey) ve (3) vida,
- Kama unsurları; (4) kapalı kama kanalı ve (5) açık kama kanalı,
- Kanal unsurları; (6) daire kesitli kanal (kavisli fatura), (7) yamuk kesitli kanal (w kanal), (8) üçgen kesitli kanal (v kanal) ve (9) dikdörtgen kesitli kanal (iç fatura),
- İç vida unsurları; (10) vidalı açık delik (boydan boya vida) ve (11) vidalı kör delik,
- Köşe (pah) unsurları; (12) iç bükey daire kesitli, (13) dış bükey daire kesitli, (14) üçgen kesitli (pah) ve (15) dikdörtgen kesitli,
- Delik unsurları; (16) açık (boydan boya), (17) kör, (18) açık konik, (19) kör (kapalı) konik şeklindedir.

Unsur kütüphanesinde mevcut olan bu unsurlar, dil söz diziminde açıklandığı gibi isim, ilişki, yerleşim ve boyut parametreleri verilmek sureti ile geliştirilecek bir modelin oluşturulmasında kullanılabilir. Şekil 3'de, kütüphanede yer alan unsurları tanımlamada kullanılan unsur ad ve parametreleri görülmektedir. Bir örnek olarak "düz mil" unsurunun kullanılabilmesi için, tasarım dil söz dizimi ile,

```
Unsur { isim(milduz_r)
      ilişki(unsur_adi, ilişki)
      yerleşim(x, y)
      boyut(a, r)
}
```

şeklinde bir tanım kullanılmalıdır. Burada "isim (milduz_n)", unsur adını (_n, aynı unsurun kullanım sırası); "ilişki (unsur-adi, ilişki)", ilişkili olduğu unsur adını ve ilişki şeklini (., unsurun bölgesel koordinatı merkezde; +, sağda; -, solda olarak); "yerleşim (x, y)", seçilen bölgesel koordinata göre öteleme miktarı (öteleme yoksa, (0, 0) değerleri alınır); "boyut(a, r)", unsurun parametrik boyut değerlerini belirtmektedir. Unsur kütüphanesinde bulunan diğer unsurlar da, benzer şekilde kullanılabilir.

İletişim Komutları

GUTAT sisteminin kullanıcı tarafından kullanımını mümkün kılabilmek ve bazı işlemleri kolay ve hızlı yapabilmek için, bazı iletişim komutları (unsur tanımlamaya ek olarak) geliştirilmiştir. Bu komutların adı, kullanım şekli ve açıklaması, Şekil 4'de verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi bu komutlar, kullanıcının dosyalarla ilgili bazı işlemlerini (save, list, load, dir gibi) ve oluşturulan unsur tabanlı tasarım modelinin analiz ve geliştirilmesini (move, rot, movrot, del gibi) mümkün kılabilmektedir. Ayrıca komut listesi ve unsurların nasıl kullanılacağını gösteren, "help" kolaylıkları da vardır.

GUTAT programının çalışması ile bilgisayar ekranında; grafik gösterim ve iletişim ekranları olmak üzere iki ekran oluşmaktadır (Şekil 7). Yukarıda listesi verilen komutlar, iletişim ekranından girilebilmekte; yanlış girilen komut veya unsur tanımları kullanıcıya rapor edilmekte ve doğrusu ekranda gösterilmektedir.

Unsur Temsili

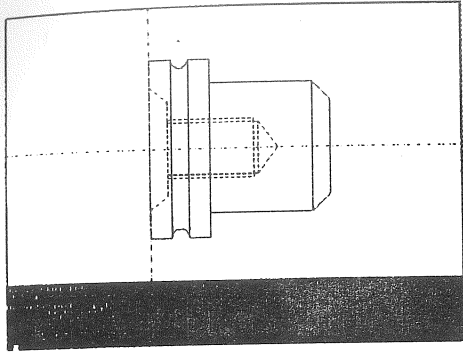
GUTAT program unsur kütüphanesinde mevcut ve parametrik tanımları mümkün unsurlarla oluşturulacak bir modelin bilgisayar ortamındaki temsili, ağaç benzeri bir dizge düzeninde olmaktadır (unsur modelin geliştirilmesine paralel değişebilir). Burada referans alınan bir unsur (genelde ilk unsur), kök olurken; dizgenin alt düğümleri, buna ilişkili tanımlanan diğer unsurları ve dizgenin kenarları (ağacın dalları) ise, unsurlar arası ilişkileri belirtmektedir. Dizge kenarlarındaki etiketler; 0 veya 1 olarak unsur ilişki kurma özelliğini tanımlamaktadır. Burada 0 özelliği,

Sr.	Unsur adı	a	b	r1	r2	Lk	Açıklama
(1)	milduz	✓		✓		-	Düz mil
(2)	milkonik	✓		✓	✓	-	Konik mil
(3)	vidamil	✓		✓		-	Vidalı mil
(4)	kamak	✓	✓			-	Kama kanalı
(5)	kamaa	✓	✓			+	Açık kama kanalı
(6)	kanalr	✓		✓		-	Yarım yuvarlak kanal
(7)	kanalv	✓		✓	✓	-	Üçgen kesitli kanal
(8)	kanalw	✓	✓	✓	✓	-	Yamuk kesitli kanal
(9)	kanalh	✓		✓	✓	-	Faturalı kanal
(10)	vidadelika	✓		✓		+	Açık vidalı delik
(11)	vidadelikk	✓		✓		+	Kör vidalı delik
(12)	koseri	✓		✓		-	İçbükey yuvarlak köşe
(13)	koserd	✓		✓		-	Dışbükey yuvarlak köşe
(14)	kosep	✓	✓	✓		-	Pahlı köşe
(15)	kosel	✓		✓	✓	-	Faturalı köşe
(16)	delika	✓		✓		+	Boydan boya delik
(17)	delikk	✓		✓		+	Kör delik
(18)	delikkonika	✓		✓	✓	+	Açık konik delik
(19)	delikkonikk	✓		✓	✓	+	Kör konik delik

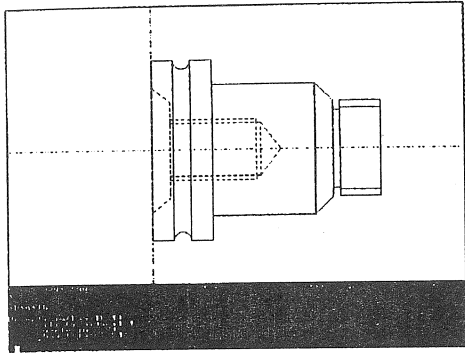
Şekil 3. Unsur kütüphanesi (a, b: Boy; r1, r2: Çap; Lk: Yerel koordinat)

Komut	Açıklama	Kullanımı
Help	Yardım komutlarını gösterir.	Help
New	Yeni bir tasarım dosyası açar.	New
Cls	Çizim ekranını temizler.	Cls
Dir	Diskte saklı "*.Par" uzantılı dosyaları listeler.	Dir
Load	Belirtilen tasarım dosyasını yükler.	Load <"Dosya adı">
List	Çalışılan tasarım tanım kodunu görüntüler.	List
Save	Tasarım program kodunu kaydeder.	Save
Move	Verilen x ve y değerlerinde öteleme sağlar.	Move <x, y>
Rot	Verilen açı değerinde döndürme yapar.	Rot <Açı>
MovRot	Öteleme (yön tuşları) ve döndürme (+/-) sağlar.	MovRot
Redraw	Tasarımı yeniden çizer.	Redraw
Edit	Tasarıma ait unsurların editini sağlar.	Edit <Unsur Adı>
Del	Tasarımdan unsur(lar) silinmesini sağlar.	Del <Unsur Adı>
Zoom	Tasarımı, verilen "n" ölçeğinde yeniden çizer.	Zoom <n>
Quit/Exit	Unsur tabanlı tasarım programından çıkarılır.	Quit / Exit
Kanal	Kanal unsurları ve kullanım formatını gösterir.	Kanal
Köşe	Köşe unsurları ve kullanım formatını gösterir.	Köşe
Kama	Kama unsurları ve kullanım formatını gösterir.	Kama
Mil	Mil unsurları ve kullanım formatını gösterir.	Mil
Delik	Delik unsurları ve kullanım formatını gösterir.	Delik

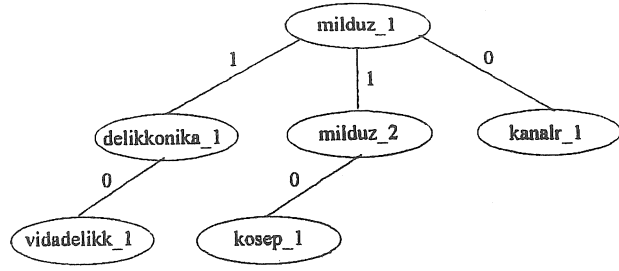
Şekil 4. GUTAT iletişim komut listesi



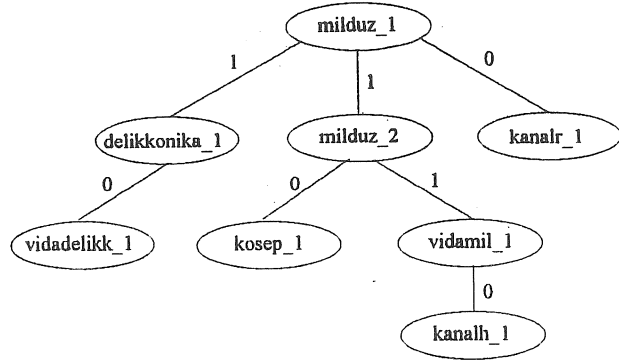
(a)



(c)



(b)



(d)

Şekil 5. Unsur modelin oluşturulması ve dizge temsili: (a), (c) Geometrik modeller; (b), (d) Unsur

ilişki kurduğu unsur yüzeyinde talaş kaldırma ile oluşan unsurlarda (pah, kama kanalı gibi); 1 özelliği ise, ilişki kurduğu unsura yeni hacim ekleyen veya çıkartan unsurlarda (mil, delik gibi) kullanılmaktadır.

Şekil 5 (a)'da GUTAT kullanılarak oluşturulan basit bir parçanın unsur tabanlı modeli; Şekil (b)'de ise, aynı parçanın ilişki dizge yapısı görülmektedir. Aynı parçaya yeni unsurlar eklenmesi ile geliştirilen model ve ilgili dizge, Şekil 5 (c) ve (d)'de gösterilmiştir.

İlişki dizgesinin bilgisayar ortamında temsili, n×n boyutlu bir kare "Bitişim (Adjacency) Matrisi" B ile yapılabilir. B matrisindeki n boyutu, dizgedeki düğüm (node) sayısını belirtmekte ve matris elemanları, 0 ve 1 değerlerinden oluşmaktadır. B matris satır ve sütunlarına yerleştirilecek unsurlar arasında ilişki (komşuluk) var ise, bu unsurların kesiştiği b_{ij} matris elemanı, 1; ilişki yok ise, 0 değerlerini alacaktır. Şekil 5 (d)'de görülen ilişki dizgesinin bitişim matrisi, Şekil 6'da verilmiştir (Şekilde 0 değerleri boş bırakılmıştır).

Unsur ilişki dizgesini temsil eden bitişim matrisinden faydalanılarak, her bir unsurdan köke (referans unsura) gidicek ilişki patikaları, dizge kuramı algoritmaları kullanılarak kolayca elde edilebilir [28]. Örneğin, unsur "kanalh_1" ile kök arasındaki patika:

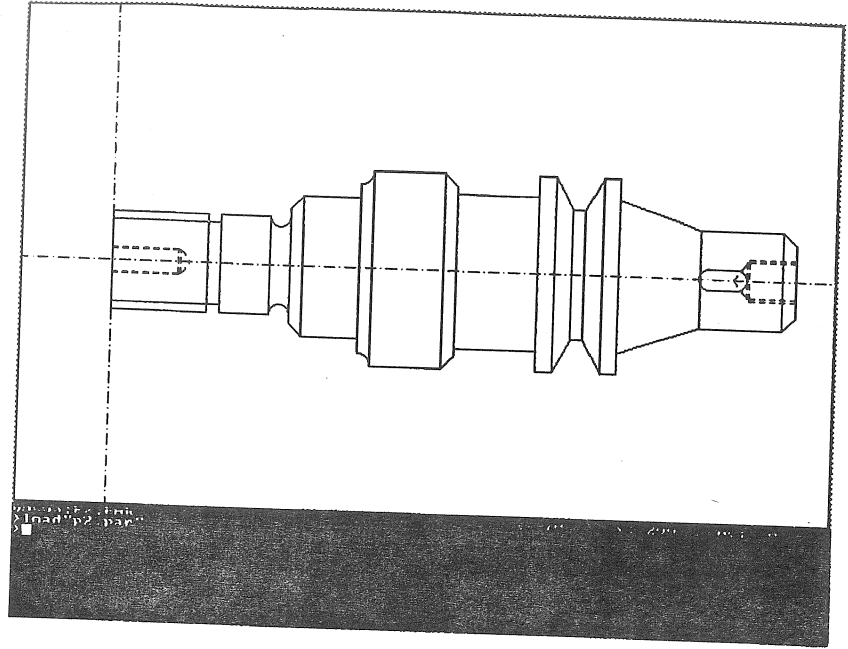
kanalh_1 --- vidamil_1 --- milduz_2 --- milduz_1

şeklinde olacaktır. GUTAT programı, tanımlanan unsur tasarım dosyalarını analiz ederek, her bir unsura ait ilişki patikalarını ve bunlara bağlı unsur konumlama ve koordinat değerlerini hesaplayabilmektedir. Aynı işlemler, unsurların eklenmesi, çıkartılması, boyut parametrelerinin değiştirilmesi v.b. gibi hallerde de uygulanarak, son modele ait ilişki ve koordinat değerleri korunabilmekte, sürekli kayıt ortamında saklanabilmektedir.

GUTAT kullanılarak oluşturulan örnek bir unsur tabanlı tasarım modeli ve ilgili dosyaları, Şekil 7-11 arasında verilmiştir. Burada Şekil 7, modelin geometrik gösterimini; Şekil 8, modelin GUTAT söz dizimi ile yapılan tasarım tanım kod dosyasını; Şekil 9, ilişki bitişim matrisini; Şekil 10, unsurların patika matrisini ve Şekil 11 ise, unsurların GUTAT tarafından elde edilen boyut ve koordinat değerlerini göstermektedir.

	1	2	3	4	5	6	7	8
1 milduz_1		1	1	1				
2 delikkonika_1	1					1		
3 milduz_2	1						1	1
4 vidadelikk_1	1							
5 kosep_2		1						
6 vidamil_1				1				
7 milduz_3			1					1
8 kanalh_1							1	

Şekil 6. Şekil 5 (d)'de görülen unsur ilişki dizgesinin bitişim matrisi



Şekil 7. GUTAT'la oluşturulan bir unsur tabanlı tasarım modeli.

```

% Geometrik Unsur Tabanlı Tasarım (GUTAT)
% Program adı : P2.PAR
% Tarih/Saat : 17.07.1997 / 14:49:58
Parca { isim(mil0002)
  yerlesim(70,200)
  donme(0)
  Unsur { isim(vidamil_1)
    iliski(mil0002,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(75,38)
  }
  Unsur { isim(milduz_1)
    iliski(vidamil_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,38)
  }
  Unsur { isim(kanalr_1)
    iliski(milduz_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(16,38)
  }
  Unsur { isim(kanalh_1)
    iliski(milduz_1,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,38,32)
  }
  Unsur { isim(milduz_2)
    iliski(milduz_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(54,54)
  }
  Unsur { isim(kosep_1)
    iliski(milduz_2,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,10,54)
  }
  Unsur { isim(milduz_3)
    iliski(milduz_2,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(75,75)
  }
  Unsur { isim(koseri_1)
    iliski(milduz_3,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,75)
  }
  Unsur { isim(kosep_2)
    iliski(milduz_3,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,10,75)
  }
  Unsur { isim(milduz_4)
    iliski(milduz_3,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,59)
  }
  Unsur { isim(milduz_5)
    iliski(milduz_4,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,75)
  }
  Unsur { isim(kanalw_1)
    iliski(milduz_5,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(38,10,75,50)
  }
  Unsur { isim(milkonik_1)
    iliski(milduz_5,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(64,59,38)
  }
  Unsur { isim(milduz_6)
    iliski(milkonik_1,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(75,38)
  }
  Unsur { isim(kosep_3)
    iliski(milduz_6,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(10,10,38)
  }
  Unsur { isim(kamak_1)
    iliski(milduz_6,- )
    yerlesim(-20,0)
    boyut(38,16)
  }
  Unsur { isim(vidadelikk_1)
    iliski(vidamil_1,- )
    yerlesim(0,0)
    boyut(54,10)
  }
  Unsur { isim(vidadelikk_2)
    iliski(milduz_6,+ )
    yerlesim(0,0)
    boyut(38,16)
  }
}

```

Şekil 8. Şekil 7'de görünen örnek parçanın GUTAT tasarım tanım kodu

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	vidamil 1		1															1
2	milduz 1	1		1	1													
3	kanalr 1		1															
4	kanalh 1		1															
5	milduz 2		1			1	1											
6	kosep 1				1													
7	milduz 3				1			1	1	1								
8	koseri 1						1											
9	kosep 2						1											
10	milduz 4						1				1							
11	milduz 5									1		1	1					
12	kanalw 1										1							
13	milkonik 1										1			1				
14	milduz 6												1		1	1		1
15	kosep 3													1				
16	kamak 1													1				
17	vidadelikk 1	1																
18	vidadelikk 2													1				

Şekil 9. Örnek tasarıma ait ilişki bitişim dizge matrisi

vidamil 1																			
milduz 1	vidamil 1																		
kanalr 1	milduz 1	vidamil 1																	
kanalh 1	milduz 1	vidamil 1																	
milduz 2	milduz 1	vidamil 1																	
kosep 1	milduz 2	milduz 1	vidamil 1																
milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1																
koseri 1	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1															
kosep 2	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1															
milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1															
milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1														
kanalw 1	milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1													
milkonik 1	milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1													
milduz 6	milkonik 1	milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1												
kosep 3	milduz 6	milkonik 1	milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1											
kamak 1	milduz 6	milkonik 1	milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1											
vidadelikk 1	vidamil 1																		
vidadelikk 2	milduz 6	milkonik 1	milduz 5	milduz 4	milduz 3	milduz 2	milduz 1	vidamil 1											

Şekil 10. Örnek tasarımda yer alan unsurların patika matrisi (ağaç yapısı)

Unsur	İliş. Unsur	Ui	Li	Sx	x	y	a	b	r1	r2	sx	sy
vidamil 1	mil0002	+	-	0	0	0	75	0	38	0	70	200
milduz 1	vidamil 1	+	-	0	0	0	64	0	38	0	145	200
kanalr 1	milduz 1	+	.	0	0	0	16	0	38	0	201	200
kanalh 1	milduz 1	-	.	1	0	0	10	0	38	32	150	200
milduz 2	milduz 1	+	-	0	0	0	54	0	54	0	209	200
kosep 1	milduz 2	-	-	1	0	0	10	10	54	0	219	200
milduz 3	milduz 2	+	-	0	0	0	75	0	75	0	263	200
koseri 1	milduz 3	-	-	1	0	0	10	0	75	0	273	200
kosep 2	milduz 3	+	-	0	0	0	10	10	75	0	328	200
milduz 4	milduz 3	+	-	0	0	0	64	0	59	0	338	200
milduz 5	milduz 4	+	-	0	0	0	64	0	75	0	402	200
kanalw 1	milduz 5	.	.	0	0	0	38	10	75	50	434	200
milkonik 1	milduz 5	+	-	0	0	0	64	0	59	38	466	200
milduz 6	milkonik 1	+	-	0	0	0	75	0	38	0	530	200
kosep 3	milduz 6	+	-	0	0	0	10	10	38	0	595	200
kamak 1	milduz 6	.	.	0	-20	0	38	16	0	0	548	200
vidadelikk 1	vidamil 1	-	+	1	0	0	54	0	10	0	70	200
vidadelikk 2	milduz 6	+	+	0	0	0	38	0	16	0	605	200

Şekil 11. Örnek tasarımdaki unsurların boyut ve koordinat değerleri

SONUÇ

Bu makalede, unsur tabanlı tasarım konusunda yürütülen bir araştırma çalışmasının ilk sonuçları özetlenmekte ve bu amaçla geliştirilen bir bilgisayar yazılım paketi "GUTAT" tanıtılmaktadır. Geliştirilen paket program; unsur kütüphanesi (mevcut hali ile eksenel simetrik 19 unsur içeren), basit bir unsur tanım dil söz dizimi, kullanıcı arabirimi ile analiz ve gösterim araçlarından oluşmaktadır. Bu paket programı kullanacak bir tasarımcı, çeşitli parçaların unsur tabanlı modellerini kolayca oluşturabilmekte, bu modellere yeni unsurlar ekleyebilmekte/çıkarabilmekte veya unsur parametrelerini değiştirebilmekte, sürekli kayıt ortamında saklayabilmekte ve istenildiğinde tekrar çağırarak benzer yeni işlemler yapabilmektedir. Ayrıca tasarımda ilişkiler şeklinde kullanılan unsurların koordinat değerleri (referans veya global koordinat sistemine göre), program tarafından otomatik olarak hesaplanmakta ve istenildiğinde kullanıcıya sunulabilmektedir. GUTAT programı ile oluşturulan bireysel parçaların montajı, bu çalışmaya paralel yürütülen bir başka araştırma çalışmasında ele alınmış ve GUTAT'a eklenecek bir montaj modülü geliştirilmiştir [29]. Bu montaj modülü, GUTAT'la unsur tabanlı modellenen bireysel parçaların uygun montaj sınırlayıcıları ile tanımlanmasından sonra, montaj modellerinin oluşturulması ve görüntülenmesini de sağlamaktadır. Mevcut hali ile GUTAT, geometrik unsurlar kullanılarak dönel simetrik parçaların modellenmesine izin vermekte ise de; yaklaşım, kolayca simetrik olmayan parçalar ve diğer unsurları (tolerans, montaj gibi) kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Tasarım niyetini koruma, tasarımdan otomatik üretime geçmeyi destekleme ve zeki tasarım destek sistemleri geliştirmeyi kolaylaştırmaya ek olarak unsur temelli modelleme yaklaşımı, şu avantajları da sağlamaktadır [5]:

- verilen sınırlandırmalara göre tasarımın işlev ve performansını değerlendirme,
 - farklı düzey ve amaçlı bilgi temsili,
 - geometrik muhakeme (reasoning) gibi bazı işlemlere izin verme,
 - tasarıma farklı açılardan bakma ve değerlendirme.
- Bu nedenlerden ötürü unsur temelli tasarım yaklaşımı, günümüz BDT, BDT/BDÜ ve BDM araştırma ve uygulamalarında öncelikli bir yer işgal etmektedir. Bu makalede özetlenen çalışmanın ileri aşamalarında yapılması düşünülen araştırmalar, şu konuları kapsayacaktır:
- 3 boyutlu unsur temelli bir eş zamanlı tasarım destek sistemi geliştirme,
 - tasarıma farklı açılardan (çeşitli tasarım aşamaları veya üretilebilirlik, montaj edilebilirlik analizi v.b.) bakma,
 - çeşitli analiz paketleri (örneğin gerilme) ile geliştirilen sistemin arabirim sağlayabilmesi,
 - yapay zeka teknikleri ile destek ve
 - ürün modelleme, sınırlandırma teknikleri ve STEP standardı kullanımı.

MODELLING OF ROTATIONAL MACHINE PARTS WITH THE USE OF AXISYMMETRIC FEATURES

Models created by the use of low level primitives of the traditional CAD tools not including information about functionality of the parts became insufficient for closing the gap between CAD/CAM systems. The research on the feature-based design commenced after the establishment of this fact and has been carried on up to now. A feature can be defined as "a higher level grouping of geometrical, topological and functional primitives into an entity more suitable or use in design analysis or manufacturing". The feature-based approach provides some advantages such as expressing the design intent, full automatic integration of design and manufacture and easily development of intelligent design systems. This paper summarizes a research work conducted on the feature-based design and describes a software package developed for this purpose. The package program consists of the feature library, a simple language syntax, the user interface, the tools for analysis and visualization. A designer using this package program can easily create feature based models of axisymmetrical rotational parts and develop them.

KAYNAKÇA

1. Sing, N., *Systems Approach to Computer - Integrated Design and Manufacturing*, John Wiley and Sons, Inc., International Ed., 1996.
2. Sutherland, I., *SKETCHPAD: A Man - Machine Communication System*, Ph.D. Thesis, MIT, January 1963.
3. Finger, S. ve Dixon, J.R., A Review of Research in Mechanical Engineering Design, Part II: Representations, Analysis and Design for Life Cycle, *Research in Eng. Design*, 1 (1989) 3, 121-137.
4. Fu, Z., *Geometric Reasoning for Feature-Based Design Using A Graph Grammar*, Ph.D. Thesis, University of Leeds, December 1991.
5. Fu, Z. ve de Pennington, A., Geometric Reasoning Based on Graph Grammar Parsing, *Proc. of the 1991 ASME Design Automation Conference*, Miami, USA, v.2, pp.13-22, 22-25 Sept. 1991.
6. *I-DEAS Product Catalog*, SDRC, World Headquarters, 2000 Eastman Drive, Milford, Ohio 45150, USA, May 1996.
7. Çelik, S., *Unsur Tabanlı Makina Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Ağustos 1996.
8. Ji, Q. ve Marefat, M.M., Machine Interpretation of CAD Data for Manufacturing Applications, *ACM Computing Surveys*, 24 (1997) 3, 264-311.
9. Guerra, A.R.O. ve Hinduja, S., Modelling Turned Components with Non-axisymmetric Features, *Computer-Aided Design (CAD)*, 29 (1997) 5, 343-359.

- 3
IC
- ves o
nator
nt fo
The
after
on up
level
sion,
each
esign
and
igent
work
es a
The
/ a
; for
this
dels
- y
ry
1
10. Unger, M.B. ve Ray, S.R., Feature-based Process Planning in the AMRF, *Proc. of the 1988 ASME Int. Computers in Eng. Conference and Exhibition*, v.3, pp.563-569, 1988.
 11. Shah, J.J. ve Mantyla, M., *Parametric and Feature-Based CAD/CAM: Concepts, Techniques and Applications*, John Wiley, New York, 1995.
 12. Shah, J.J., Nau, D.S. Mantyla, M., (eds.), *Advances in Feature Based Manufacturing*, Elsevier, North Holland, 1994.
 13. Han, J.H. ve Requicha, A.A.G., Integration of Feature Based Design and Feature Recognition, *CAD*, 29 (1997) 5, 393-403.
 14. Nezis, K. ve Vosniakos, G., Recognizing 2.5D Shape Features Using a Neural Network and Heuristics, *CAD*, 29 (1997) 7, 523-539.
 15. van Emmerik, M.J.G.M., *Interactive Design of Parametrized 3D Models by Direct Manipulation*, Delft University Press, The Netherlands, 1990.
 16. Zhu, G., Jian, G., Weigand, H. ve Ji Zhou, J.Y., A Product Definition System for Concurrent Design, *Int. Conference on Engineering Design ICED'93*, The Hague, Netherlands Congress Center, Netherlands, August 17-19, 1993, Proc. of ICED'93, v.3, pp.1602-1609, Ed. by N.F.M. Roozenburg, HEURISTA 1993.
 17. Chen, C.S. ve Wu, J., *Product Modelling and Data Exchange, Concurrent Engineering: Methodology and Applications*, P. Gu and A. Kusiak (Editors), *Advances in Industrial Eng.*, 19, pp.299-313, ELSEVIER Science Pub., 1993.
 18. Ko, H. ve Park, M.W., Integration Methodology for Feature-Based Modeling and Recognition, *Advances in Engineering Software*, 20 (1994) 2-3, 75-89.
 19. Perremans, P., Feature-based Description of Modular Fixturing Elements: The Key to an Expert System for the Automatic Design of the Physical Fixture, *Advances in Eng. Software*, 25 (1996) 1, 19-27.
 20. Munns, A., Li, Y.B. ve Wang, X., Rule-based Feature Extraction from CSG Representations and an Application in Construction, *Int. Conference on Intelligent Manufacturing*, SPIE, pp.269-276, Wuhan, China, 1995.
 21. Ismail, H.S., Chen, S.T. ve Hon, K.K.B., Feature-based Design of Progressive Press Tools, *Int. J. of Machine Tools and Manufacture*, 36 (1996) 3, 367-378.
 22. Mantripragada, R., Kinzel, G. ve Altan, T., Computer-aided Engineering System for Feature-based Design of Box-type Sheet Metal Parts, *J. of Materials Processing Tech.*, 57 (1996) 3-4, 241-248.
 23. Sec Toh, K.H., Loh, H.T., Nee, A.Y.C. ve Lee, K.S., Feature-based Flat Pattern Development System for Sheet Metal Parts, *J. of Mat. Proc. Technology*, 48 (1995) 1-4, 89-95.
 24. Kim, D.W., Kishinami, T. Kang, Y.J. ve Saito, K., Feature Based Modeling of a Welded Plate Construction, *J. of Mat. Proc. Technology*, 44 (1994) 3-4, 257-264.
 25. Stokes, V.K., Feature-based Methodology for Mechanical Design with long-fiber Filled Injection-molded Thermoplastic Composites, *Proc. of the 52nd Annual Technical Conference ANTEC 94*, Part 3, pp.3171-3175, San Francisco, CA, USA, Soc. of Plastics Eng., Brookfield, CT, USA, 1994.
 26. Bottoni, P., Cugini, U., Mussio, P., Papetti, C. ve Protti, M., System for Form-feature-based Interpretation of Technical Drawings, *Machine Vision and Applications*, 8 (1995) 5, 326-335.
 27. Suharitdamrong, V. ve Motavalli, S., Feature-Based Model Generation for Reverse Engineering, *Industrial Engineering Research-Conference Proc.*, pp.183-189, IIE, Norcross, GA, USA, 24-25 May 1995.
 28. McHugh, J.A., *Algorithmic Graph Theory*, Prentice-Hall Int., Inc., Int. edition, 1990.
 29. Sinanoğlu, C., *Bilgisayar Destekli Montaj*, Yüksek Lisans Tezi, E.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Ağustos 1996.

ANALYSIS OF ROLLING ELEMENT BEARINGS

Wan CHANGSEN

Friction Institute of China, Mech. Eng. Society
Mechanical Engineering Publications Ltd. 1991
ISBN 0-85298-745-5

Yuvarlanma elemanlı yataklar dönen millerin makina gövdesi içine yerleştirilmesi amacıyla çok kullanılan makina elemanlarıdır. Ağır yük taşıyan millerin küçük bir hacim içerisinde yataklanması gereken uygulamalarda büyük oranda tercih edilmektedir. Otomotiv ve havacılık endüstrisindeki gelişmeler sonucunda yuvarlanma elemanlı yatakların tasarım ve imalat teknolojilerinin gelişmesine önderlik etmişlerdir. Bu tür uygulamalardaki çalışma koşullarında, yüksek güvenilirlik ile uzun bir çalışma süresinde en iyi performansı veren yuvarlanma elemanlı yatakların tasarımının nasıl yapılacağı araştırmacılar için en önemli bir sorun olarak değerlendirilmektedir.

1987 yılında Çince yayımlanan bu kitap 1991 yılında aynı yazar tarafından İngilizceye çevrilmiştir. Bu kitaptaki bölümler genel olarak iki grupta toplanabilir. Birinci gruptaki bölümlerde yatağı oluşturan parçaların geometrik ilişkileri, statik ve dinamik yük taşıma kapasitesi, yuvarlanma elemanları üzerindeki yük dağılımı, oluşan gerilmeler, şekil değişikliği ve yatağın çalışma ömrünü içeren temel tasarım prensipleri verilmiştir. İkinci gruptaki bölümlerde ise yuvarlanma elemanlı yataklardaki temas yorulma mekanizması, elastohidrodinamik yağlama kuramı ve yataklara uygulanması, optimum tasarım ve bilgisayar yardımı ile tasarım konularındaki son gelişmeler içerilmektedir. Yazarın kendi araştırma makaleleri de dahil 114 kaynaktan yararlanarak derlenen bu kitap 411 sayfa olarak hazırlanmıştır.

Birinci bölümde standart yuvarlanma elemanlı yatakların tipleri ve karakteristik özellikleri tanıtılmıştır. Yuvarlanma elemanlı yatakların yük kapasitesi, gerilme ve elastik şekil değiştirme dağılımı, sürtünme, yağlama, titreşim ve gürültü, çalışma ömrü vb. performans özellikleri kinematik ve dinamik koşulları etkileyen iç geometri ile belirlenmektedir. İkinci bölümde bilyalı ve makaralı yatakların geometrik özellikleri verilmiş ve ilişkiler tanımlanmıştır. Yuvarlanma elemanlı yataklarda elemanlar ile yuvarlanma yolları arasında nokta veya çizgi temas oluşmakta ve temas bölgesinin büyüklüğü ve şekli iki yüzey arasındaki sürtünmeyi

etkilemektedir. Hertz temas basıncının malzeme içindeki oluşturduğu elastik gerilme ve şekil değişiklikleri üçüncü bölümde incelenmiştir. Dördüncü bölümde yatağın bir bileziğinden diğer bileziğine iletilen kuvvetin yuvarlanma elemanları arasındaki dağılımının bulunması için gerekli olan temas bölgesindeki yük-deformasyon ilişkisi gösterilmiştir. Radyal, eksenel ve birleşik yüklenme için yatakların yuvarlanma elemanları üzerindeki yük dağılımları incelenmiştir.

Beşinci bölümde yuvarlanma elemanlarının yatak eksenini etrafında dönmesi sırasında kendi eksenleri etrafında oluşan dönme hareketi incelenmiş ve kayma hareketi tanımlanmıştır. Yatak yüzeyindeki bir noktadaki yükün değeri ve yüklenme sayısı yatağın yorulma ömrünü ve performansını etkiler. Altıncı bölümde elastohidrodinamik yağlama teorisi verilmiş ve yuvarlanma elemanlı yataklara uygulanarak yağ film kalınlığının hesaplanması gösterilmiştir. Yedinci bölümde yatakların çalışma ömürlerini belirleyen temas yorulmasının modellenmesi verilmiş ve yük-ömür ilişkisinin istatistiksel özellikleri tanımlanmıştır. Sekizinci bölümde bir yatağın dinamik yük kapasitesi ve eşdeğer dinamik yük tanımları, dokuzuncu bölümde ömür deneylerindeki parametreleri belirleme yöntemleri ve ömür deney süresini azaltmak amacıyla istatistiksel yöntemler verilmiştir.

Onuncu bölümde yatakların statik yük kapasitesinin hesaplanması, yuvarlanma elemanları arasındaki dağılımı ve temas deformasyonu gözönüne alınarak verilmiştir. Onbirinci bölümde hız ve ömür faktörleri de gözönüne alınarak yük-ömür ilişkisi modifikasyonu geliştirilmiştir. Yüksek hızda çalışan, salınım hareketi yapan yataklar ile lincir yataklar ve bilyalı vidalar gibi özel uygulamalardaki ömür hesaplamaları için yöntemler gösterilmiştir. Onikinci bölümde gres ile yağlamadaki ömür hesabı ve etkileyen faktörler verilmiştir.

Onüçüncü bölümde yatakların direngenliği temas bölgesi için geliştirilen yük-deformasyon ilişkisinden hareket edilerek çıkarılmış ve ön yüklenme ile ilişkisi

gösterilmiştir. Yataklardaki sürtünme yuvarlanma sürtünmesi, kayma sürtünmesi ve viskoz yağ sürtünmesinden oluşmaktadır. Ondördüncü bölümde malzemenin elastik histerisis özelliğinden kaynaklanan yuvarlanma sürtünme katsayısı verilmektedir.

Onbeşinci bölümde optimizasyon yöntemleri tanımlanmış ve en uzun çalışma ömrü istenildiğinde dış boyutları verilen yatakların içinde maksimum dinamik yük kapasitesi, en uzun aşınma ömrü, en az sürtünme momenti, yuvarlanma elemanlarının kendi ekseni etrafında dönmesinin yatak ekseni etrafında dönmesine oranın en az olması, en fazla statik yük kapasitesi gibi yatak tasarım hedefleri için yuvarlanma elemanının çapı ve sayısının belirlenmesinde optimizasyon yöntemlerinin uygulaması gösterilmiştir.

Yüksek hızda çalışan yataklarda yuvarlanma elemanları üzerindeki merkezkaç kuvvetleri ile jiroskopik kuvvetler önem kazanmakta ve yatak tasarımını etkilemektedir. Bu nedenle yuvarlanma elemanları üzerindeki kuvvet dağılımları, elemanların yörüngeleri, dönme hızları ve kayma hızları çok farklı olmaktadır. Merkezkaç ve jiroskopik momentlerin yuvarlanma elemanları üzerinde oluşturduğu kuvvetlerin etkisi onaltıncı bölümde incelenmiştir. Onyedinci bölümde yuvarlanma elemanları üzerine etki

eden kuvvetler dikkate alınarak elemanın hareket denklemleri çıkarılmış ve kendi ekseni etrafında dönmenin yuvarlanma hızına oranının etkisi Harris tarafından geliştirilen elastohidrodinamik yağlama modelinin yuvarlanma elemanlarının yağlanması ile gösterilmiştir.

Bu kitap T.A. Harris tarafından yazılan ve 1966 ve 1984 yıllarında iki baskısı yayımlanan "Rolling Bearing Analysis" ile P. Eschmann, L. Hasbargen, K. Weigand tarafından yazılan "Ball and Roller Bearings; Theory, Design and Application" (1985) kitaplarından sonra yuvarlanma elemanlı yataklar konusunda yayımlanan üçüncü kitaptır. Yuvarlanma elemanlı yatakların kuramsal temelleri ve tasarımı için gerekli bilileri içeren bu kitap çok sayıda makalede bulunabilecek faydalı ayrıntı bilgiyi bir başlık altında toplamıştır. Yuvarlanma elemanlı yatakların analitik yöntemlerle incelenmesi amacıyla konular açık ve belli bir mantık sırası ile verilmiştir. Yuvarlanma elemanlı yatakların performansı ve yatak tasarımı üzerinde çalışan araştırmacılar ile yüksek güvenilirlikte uzun bir çalışma süresinde en iyi performansın elde edilmesi için çalışan mühendisler için başvurulabilecek temel bir kaynak kitaptır.

Prof. Dr. Metin AKKÖK
ODTÜ, Makina Mühendisliği Bölümü

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

<u>KONGRE ADI</u>	<u>TARİH</u>	<u>YAZIŞMA ADRESİ</u>
NordDesign '98	26-28 Ağustos 1998 Stockholm, Sweden	Royal Institute of Technology, KTH Department of Machine Design SE-100 44 Stockholm Sweden Fax: +46 8 20 22 87 E-mail: norddesign98@damek.kth.se http://www.damek.kth.se/-kan/norddesign98
Fifteenth International Workshop on Rare-Earth Magnets and Their Applications Tenth International Symposium on Magnetic Anisotropy and Coercivity in Rare-Earth Transition Metal Alloys	30 Ağustos - 3 Eylül 1998 Dresden, Germany	Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V. Hamburger Allee 26 D-60486 Frankfurt Germany Fax: +49-69-7917733
The 7th International Conference on Metal Forming Metal Forming 98	1-3 Eylül 1998, The University of Birmingham, UK	Conference Secretary Metal Forming 98 School of Manufacturing and Mech. Eng. The University of Birmingham Edgbaston United Kingdom Tel: +44 (0) 121 414 4232 Fax: +44 (0) 121 414 3958 Email: metalform@bham.ac.uk
M2VIP'98 - 5th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice	10-12 Eylül 1998, Nanjing, China	Dr. Peter Tse, The Treasurer, M2VIP'98 Dept. of Manufacturing Eng. and Eng. Management City University of Hong Kong, 83 Tat Chee Avenue, Hong Kong Tel: (852) 2788 8431 Fax: (852) 2788 8423 Email: meptse@cityu.edu.hk
CIRP Life Cycle Design'98	16-18 Eylül 1998, KTH Stockholm, Sweden	Life Cycle Design '98 KTH-Machine Design SE-10044 Stockholm Sweden Fax: + 46 8 20 22 87

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

Tarımsal Mekanizasyon
18. Ulusal Kongresi

17-18 Eylül 1998
Trakya Üniversitesi
TEKİRDAĞ

Doç. Dr. Birol Kayışoğlu
T.Ü. Tekirdağ Ziraat Fakültesi
Tarım Makinaları Bölümü
59030 Tekirdağ
Tel: 0.282.231 21 48 - 52 (5 hat)
Dahili numara: 203
Fax: 0.282.231 22 08

ign

International Conference
on Education in
Manufacturing

14-16 Ekim 1998
Town and Country
Hotel, San Diego,
California, USA

Society of Manufacturing Engineers
Education Department
One SME Drive
Dearborn, MI 48121
USA
call Eva Dunnigan at (313) 271-1500,
ext. 586 or fax (313) 336-7065 or
e-mail education@sme.org

IX. Internationales
Produktionstechnisches
Kolloquium
PTK 98

29-30 Ekim 1998
Berlin, GERMANY

Fraunhofer-Institut
Produktionsanlagen und
Konstruktionstechnik (IPK)
PascalstraBe 8-9, D-10587 Berlin
Germany
Mrs Heike Krieger
Phone: ++49 (0) 30/390 06 103
e-mail: heike.krieger@ipk.fhg.de

The 7th International
Conference on
Steel Rolling
Steel Rolling '98

9-11 Kasım 1998
Tokyo, Japan

Sogo-Kojimachi No.3 Bldg.
Kojimachi 1-6, Chiyoda-ku Tokyo 102
Japan
Tel (+81) 3-3239-4565
Fax (+81) 3-3239-4714
E-mail: KYD00356@niftyserve.or.jp

Euromech-Mecamat
3rd European
Mechanics of Materials
Conference on
Mechanics and
Multi-Physics Processes
in Solids: Experiments,
Modelling, Applications

23-25 Kasım 1998
Oxford, U.K.

E. Busso
Dept. of Mechanical Engineering
Imperial College
University of London
Exhibition Road, London SW7 2BX, UK
E-mail: e.busso@ic.ac.uk
Tel.+44-(171)-.594 7084
Fax. +44-(171)-823 8845
http://www.me.ic.ac.uk/materials/emmc3

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

The 4th Asia Pacific
Conference on
Materials Processing

19-21 Mayıs 1999
Singapore

Mr Ong Chor Eong
4th Asia Pacific Conference on
Materials Processing
Applied Research Corporation
Engineering Blk E4-04-11
National University of Singapore
Kent Ridge Crescent
Singapore 119260
Tel: (65)-775 5822 Fax: (65)-773 0924
E-mail: arc@pacific.net.sg
URL address: <http://home.pacific.net.sg/~arc/>

5th International
Conference on Advanced
Manufacturing Systems
and Technology

3-4 Haziran 1999
University of Udine
Italy

AMST '99: F. Miani
Via delle Scienze 208 - I-33100 Udine
Italy
Telephone: ++39 432 558259
Telefax: ++39 432 558251
E-mail: miani@picolit.diegm.uniud.it
<http://www.uniud.it/diegm/amst99.html>

ECCM '99
European Conference
on Computational
Mechanics

31 Ağustos - 3 Eylül
1999
Munich, Germany

Secretariat of ECCM'99
Lehrstuhl für Statik
Technische Universität München
Arcisstraße 21
D-80333 München, Germany
Tel: +49(0)89 2892 2422
Fax: +49(0)89 2892 2421
e-mail: eccm@statik.bauwesen.tu-
muenchen.de
[www.http://www.statik.bauwesen.tu-
muenchen/eccm.html](http://www.statik.bauwesen.tu-muenchen/eccm.html)

4th International
Mechatronic Design and
Modelling Workshop
MDM'99

1-3 Eylül 1999
Ankara, Turkey

4th International Mechatronic Design and
Modelling Workshop (MDM'99)
Mechanical Engineering Department
Middle East Technical University
ODTÜ - 06531 - Ankara - TURKEY
Phone: +90 312 2105217
Fax: +90 312 2101329
E-mail: modisa@rorqual.cc.metu.edu.tr
WEB: [http://design.me.metu.edu.tr/
workshop/](http://design.me.metu.edu.tr/workshop/)

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

6th ICTP
International Conference
on Technology of
Plasticity

19-23 Eylül 1999
Nuremberg, Germany

o.Prof.Dr.-Ing. Dr.h.c. (TU Budapest)
Manfred Geiger
Egerlandstraße 11
D-91058 Erlangen
Telefon: 0913/85-7140
Telefax: 09131/36403
Email: geiger@lft.uni-erlangen.de
<http://www.lft.uni-erlangen.de>

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 yayınlar;

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 yayınlanacak 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 yayınlanabilir.
- (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. Dergiye gelen her makale kesinlikle incelemeden geçirilecek ve bu amaçla mümkün olduğu kadar Türkiye çapında ya da yurtdışında konunun uzmanı hakemler tarafından değerlendirilmesine özen gösterilecektir. İnceleme ve değerlendirme sonuçları hakkında makale yazarlarına bilgi verilecektir.

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 quartely 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 Dergisine yurt içinden ya da yurt dışından isteyen herkes yayınlanmak 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 değerlendirilecek ve sonuç olumlu ya da olumsuz olsa da, yazarına bildirilecektir.

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayınlanabilir.

- Araştırma Makaleleri.
- Uygulama Makaleleri.
- Derleme Makaleleri: Belirli bir konu üzerinde bilimsel ve teknolojik son gelişmeleri zengin bir kaynakçaya dayanarak aktaran ve bunların değerlendirilmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
- Çeviri Makaleleri: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
- Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergide yayınlanan 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 tanıttığı yazılardır.

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.

Makalelerin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

- Makalenin adı
- Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
- Özet
- Makalenin ana kısmı
- Teşekkür (gerekli ise)
- İngilizce başlık ve özet
- 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 fakat 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 özeti İngilizcesi de Türkçe özeten sonra 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 tanımlı, 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, "O" harfi ile "0" (sıfır) sayısının karıştırılmamasına özen gösterilmelidir. Metin içindeki bağıntılar 1 (bir)'den başlayarak sıra ile numaralandırılmalı ve bu numaralar eşitliğinin bulunduğu satırın sağ kenarına parantez "()" içinde verilmelidir.

Birimler

Zorunlu olmadıkça sadece S.I. birimleri kullanılmalıdır. S.I. dışında birim kullanıldığında, fiziksel büyüklüğün S.I. eşdeğeri ve birimi parantez içinde verilmelidir.

Şekiller ve Çizelgeler

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.

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.

Resimler

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

Kaynakça

Makale içinde gönderme yapılan (atıfta bulunulan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez [] içinde verilmelidir. Dergilerde yayınlanan 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 Tunalı, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, 1. *Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Makaleler yaklaşık 4000 kelimeyi ve 10 adet şekli ve çizelgeyi aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır. Makaleler daktilo ile A4 kağıdının tek yüzüne, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeterli kadar boşluk bırakılmalıdır. Şekillerin orjinalleri de dahil olmak üzere makale üç kopya gönderilmelidir.

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

Yayınlanın veya yayınlanmasın gönderilen makaleler yazarına geri gönderilmez. Yazılardaki fikir ve görüşler yazarına, çeviriden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAYIN HAKKI

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

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.

1. Örnek dip notu