

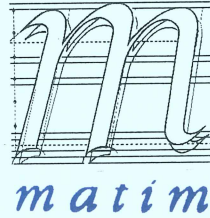
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 5

Sayı : 2

Kasım 2003



Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ODTÜ

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

ODTÜ
Gazi Ü
ODTÜ
ODTÜ
ODTÜ
ODTÜ

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

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

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

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

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

e-mail : matim@metu.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 5 Sayı: 2 Kasım 2003

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 5 No: 2 Nov. 2003

ISSN 1302-9487

TELİF HAKKI

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

ABONE KOŞULLARI

Yıllık abone bedeli 2003 yılı içinde gerçek kişiler için 6.000.000 TL, firma ve kuruluşlar için 30.000.000 TL, öğrenciler için 3.000.000 TL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresinize ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

TANITIM KOŞULLARI

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

BANKA HESAP NUMARASI

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

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

Arayüz Çatlaklarının Düğüm Noktası ile Zenginleştirilmiş Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi ve Dört Nokta Eğme Testi 55

Bora YILDIRIM
Serkan DAĞ

Bilgisayar Destekli Alt Kurgu Belirlenmesi, Alt Kurgu Sıralarının Üretilmesi ve Grafik Olarak Gösterilmesi 68

Hakan DİLİPAK
Ahmet ÖZDEMİR

El Halıcılığında Bilgisayar Destekli Hav İpi Denetim Mekanizması 81

Mehmet TOPALBEKİROĞLU
Ali KİREÇÇİ
L. Canan DÜLGER

AA2014(T6) Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi 89

Bayram AYDIN
Yusuf ÖZÇATALBAŞ

Ağır Yük Düz ve Helis Dişlilerin Performans Analizi Ve Profil Optimizasyonu 96

M. Akif KÜTÜK
Nihat YILDIRIM

KONGRE TANITIMI

3. Uluslararası Kalıp, Model Tasarımı, üretimi Konferansı ve Sergisi ile 7. Uluslararası Aşındırma Teknolojilerindeki Gelişmeler Sempozyumu 103

11. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi 105

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER 107

Sayın Okurlarımız,

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

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

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

Saygılarımızla,

Yayın Kurulu

Bora Yıldırım
Y. Doç. Dr.

Osmangazi Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
26480, Eskişehir

Serkan Dağ
Y. Doç. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
06531, Ankara

Arayüz Çatlaklarının Düğüm Noktası ile Zenginleştirilmiş Sonlu Elemanlar ile Modellenmesi ve Dört Nokta Eğme Testi

Mekanik ve ısı özellikleri farklı olan malzemelerin kullanıldığı mühendislik uygulamalarında yapısal bütünlüğü tehdit eden problemlerden bir kısmı arayüz çatlaklarından kaynaklanmaktadır. Bu çatlakların oluşabileceği ve daha sonra yüklemeye koşullarına bağlı olarak ilerleyebileceği kırılma mekaniği ile ilgili uygulamalarda, çatlak ucundaki gerilme şiddeti çarpanlarını ve şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarını hesaplamak gerekmektedir. Bu çalışmada, bu değişkenleri sonlu elemanlar yöntemiyle hesaplayabilmek için bir sonlu eleman geliştirilmiş ve bu elemanın uygulaması yapılmıştır. Literatürde düğüm noktası ile zenginleştirilmiş sonlu eleman olarak tanımlanan bu elemanın yerdeğiştirme alanına teorik elastisite analizinden elde edilen asimptotik çatlak ucu yerdeğiştirme alanı eklenmiştir. Analitik çözümleri bilinen sonsuz homojen düzlemdeki çatlak ve sonsuz düzlemdeki arayüz çatlakları problemleri çözülmüş ve geliştirilen metodun yüksek doğruluk derecesinde sonuç verdiği gösterilmiştir. Son olarak yarı-iletken elektronik paketlerde arayüz bağ dayanımını belirlemek için uygulanan dört nokta eğme testi, geliştirilen sonlu elemanlar ile modellenmiş ve elde edilen sonuçlar kısaca tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arayüz çatlakları, Düğüm noktası ile zenginleştirilmiş sonlu elemanlar, Gerilme şiddeti çarpanları, Şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı, Dört nokta eğme testi.

GİRİŞ

Günümüzde birçok mühendislik uygulamasında kullanılan malzeme sistemlerinde ısı ve mekanik özellikleri farklı olan malzemeler bir arada kullanılmaktadır. Bu tür değişik malzeme katmanlarından oluşan sistemlere örnek olarak, yüksek sıcaklık ve aşınmaya karşı kullanılan koruyucu kaplamaları, elektronik paketlerde kullanılan ince film/alt tabaka sistemlerini ve farklı tabakalardan oluşan kompozit yapıları gösterebiliriz. Bu tür mühendislik uygulamalarının yapısal bütünlüğü ile ilgili tasarımlarda kırılma mekaniği yöntemleri de kullanılmaktadır. Son yıllarda özellikle bilgisayarlar, mobil telefonlar ve daha birçok uygulamada kullanılan elektronik paketlerde, periyodik ısı yüklemeye sonucunda oluşan çatlak problemlerine rastlanılmakta ve bu durumda bu tür uygulamalarda yapısal bütünlüğü tehdit edebilecek sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu çalışmada, birden farklı malzemedan oluşan sistemlerde sıklıkla rastlanabilen arayüz çatlakları ele alınmıştır. Bu çatlakların elastisite teorisi çerçevesindeki mekaniği

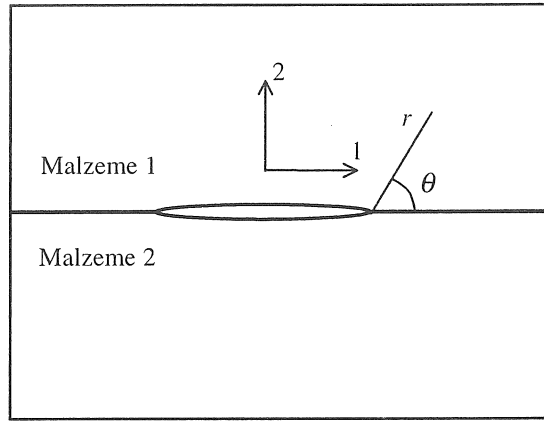
iki farklı malzemenin arayüzünde bulunan arayüz çatlakları Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çatlak dışarıdan yeterli yüklemeye uygulandığında malzeme özelliklerine ve yüklemeye durumuna bağlı olarak arayüz boyunca yada malzemelerden birinin bulunduğu yöne saparak ilerleyebilir. Çatlak ilerlemesinin başlayıp başlamayacağı şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı olarak tanımlanan bir kırılma mekaniği değişkeni hesaplanarak tahmin edilebilir. Kırılma mekaniğinde bu değişken kritik bir değere ulaştığında çatlak ilerlemesinin başlayacağı kabul edilir. Bu çalışmada arayüz çatlaklarına özel bir sonlu eleman geliştirilmiş ve şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarının sonlu elemanlar yöntemi ile nasıl hesaplanabileceği gösterilmiştir.

Arayüz çatlakları ile ilgili ilk teorik araştırmaların yapıldığı tarihler kırılma mekaniği alanının gelişmeye başladığı 1950'li yıllara kadar uzanır. Bu yıllarda Williams'ın homojen ortamda bulunan çatlaklar için geliştirdiği ve çatlak mekaniğinin anlaşılması açısından büyük önem taşıyan özfonksiyon açılımı tekniğini arayüz çatlakları içinde uyguladığını [1],

Erdoğan'ın ise Muskhelishvili [2] tarafından geliştirilen kompleks değişken tekniğini kullanarak sonsuz ortamda bulunan arayüz çatlakları için gerilme dağılımlarını belirlediğini görüyoruz [3]. Bu çalışmalardan sonra arayüz çatlakları ile ilgili birçok analitik çalışma yapılmıştır [4,5,6]. Arayüz çatlağı ile ilgili olarak Rice'in yaptığı çalışma [7] bir derleme makalesi olarak nitelenebilir. Yine arayüz çatlaklarının bulunduğu değişik geometriler için analitik çözümler, [8]'de bulunabilir.

Arayüz çatlağı probleminin sonlu elemanlar yöntemiyle çözümü konusunda da çalışmalar yapılmıştır. Van der Zande ve Grootenboer [9] hibrid bir sonlu elemanlar yöntemi ve çatlak ucunda tekil elemanlar kullanarak gerilme şiddeti çarpanlarını hesaplamışlardır. Venkatesha ve diğerleri [10] ise çatlak ucunu kapama yöntemini kullanarak arayüz

çatlakları için şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarını belirlemişlerdir. Sun ve Jih [11] tarafından yapılan çalışmada ise sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan sonuçlar analitik çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki sayısal sonuçlar yine çatlak ucunu kapama yöntemiyle, diğer bir deyişle global enerji hesaplamalarıyla elde edilmiştir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanların arayüz çatlaklarının incelenmesi için kullanıldığı çalışmalar ise sayıca oldukça sınırlıdır. Chen [12] tarafından yapılan çalışmada zenginleştirilmiş sonlu elemanlar izotropik iki ayrı malzeme arasında bulunan arayüz çatlaklarının incelenmesi için kullanılmıştır. Kaya ve Nied [13] ise bu zenginleştirilmiş sonlu elemanlar yaklaşımını ortotropik malzemeleri de kapsayacak şekilde geliştirmişlerdir.



Şekil 1. Arayüz çatlağı ve çatlak ucunda kutupsal koordinat sistemi

Bu çalışmada ilk olarak arayüz çatlağı ucundaki asimptotik yerdeğiştirme alanları verilmiştir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanların formülasyonunda bu alanlar kullanılmakta, ve çatlak ucuna yerleştirilen sonlu elemandaki yerdeğiştirme alanının elastisite teorisinden elde edilen alanı kapsamı sağlanmaktadır. Gerilmelerin çatlak ucundaki tekil davranışı, bu şekilde sonlu elemanlar formülasyonuna eklenmektedir. Bunu izleyen bölümde ise zenginleştirilmiş sonlu elemanların nasıl formüle edildiği gösterilmiştir. Daha sonra, analitik olarak çözümü bilinen bazı arayüz çatlağı problemleri, geliştirilen sonlu elemanlar metodu ile çözülmüş ve bu metod ile elde edilen sonuçlardaki hatanın oldukça küçük olduğu gösterilmiştir. Son bölümde ise geliştirilen teknik ile elektronik paketlerdeki arayüzlerin kırılma dayanımının ölçülmesinde kullanılan dört nokta eğme testi modellenmiş ve elde edilen sonuçlar kısaca tartışılmıştır.

ARAYÜZ ÇATLAĞI UCUNDA YERDEĞİŞTİRME ALANLARI

Şekil 1'de elastik davranış gösteren 1 ve 2 numaralı malzemelerin arayüzünde yer alan bir çatlak gösterilmiştir. Kırılma mekaniği ve yorulma analizleri açısından bu çatlağın ucundaki tekil gerilme ve yerdeğiştirme alanları büyük önem taşımaktadır. Şekil 1'de gösterilen çatlak ucundaki asimptotik gerilme ve yerdeğiştirme dağılımları giriş bölümünde bahsedilen kaynaklarda bulunabilir. Sonlu elemanlar analizinde kullanılacak olan çatlak ucu yerdeğiştirme alanları aşağıda verilmiştir, [14, 15]:

$$(u_1)_j = H^{(j)}(r, \theta)K_I + L^{(j)}(r, \theta)K_{II} \quad (1a)$$

$$(u_2)_j = I^{(j)}(r, \theta)K_I + M^{(j)}(r, \theta)K_{II} \quad (1b)$$

Bu eşitliklerde j malzeme numarasını göstermektedir ve 1 veya 2 olabilir. $H^{(j)}, L^{(j)}, I^{(j)}$ ve

$M^{(j)}$ fonksiyonları Ek A'da verildiği gibi kutupsal koordinatlar r ve θ 'nın fonksiyonlarıdır. K_I ve K_{II} sırasıyla, 1. mod ve 2. mod gerilme şiddeti çarpanlarıdır. Gerilme şiddeti çarpanlarının gerilmeler cinsinden tanımı ise aşağıdaki gibi yapılabilir [14,15]:

$$K_I + iK_{II} = \lim_{r \rightarrow 0} \sqrt{2\pi r}^{1/2-i\epsilon} (\sigma_{\theta\theta} + i\sigma_{r\theta}) \quad (2a)$$

$$\epsilon = \frac{1}{2\pi} \ln \left[\left(\frac{\kappa_1}{\mu_1} + \frac{1}{\mu_2} \right) / \left(\frac{\kappa_2}{\mu_2} + \frac{1}{\mu_1} \right) \right] \quad (2b)$$

$$\kappa_j = \begin{cases} 3 - 4\nu_j & \text{düzlem gerinim için} \\ 3 - \nu_j & \text{düzlem gerilme için} \end{cases} \quad (2c)$$

μ malzemelerin kesme modülü, ν ise Poisson sabitidir. Arayüz çatlakları ile ilgili olarak ilk belirtilmesi gereken nokta yüklemenin asimptotik alan üzerindeki etkisini taşıyan K_I ve K_{II} çarpanlarının mod I ve mod II yüklemesinin etkisini ayrı ayrı göstermedikleridir. Sadece normal gerilme yüklemesi altında olan bir arayüz çatlakında dahi, genel olarak K_{II} değeri sıfıra eşit değildir. Ayrıca arayüz çatlaklarında bulunan çatlak ucundaki tekillik homojen ortamda bulunan çatlaklardaki gibi karekök tekilliği değildir. Çatlak ucundaki gerilmeler osilasyonlu bir davranışa sahiptir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar yönteminde çatlak ucundaki yer değiştirme alanları, çatlak ucunda kullanılan sonlu elemanların yer değiştirme alanına dahil edilmektedir. Bu yüzden formülasyonda gerilme alanları yerine yer değiştirme alanları kullanılmaktadır. Arayüz çatlakları için gerilme şiddeti çarpanları sonlu elemanlar yöntemi ile hesaplandıktan sonra şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı G , bu çarpanlar cinsinden rahatlıkla hesaplanabilir.

ARAYÜZ ÇATLAĞI ANALİZİNDE KULLANILAN DÜĞÜM NOKTASI İLE ZENGİNLEŞTİRİLMİŞ KÜBİK SONLU ELEMAN

Zenginleştirilmiş sonlu elemanların formülasyonunda yukarıda verilen asimptotik yer değiştirme alanları kullanılmıştır. Bu elemanların yer değiştirme alanında, her bir düğüm noktasında bulunan 2 yer değiştirme değerine ek olarak gerilme şiddeti çarpanları K_I ve K_{II} de bilinmeyen olarak bulunmaktadır. Bu çalışmada 10 düğüm noktasına sahip üçüncü dereceden yer değiştirme alanı olan üçgen elemanlar kullanılarak zenginleştirilmiş sonlu elemanlar geliştirilmiştir. Zenginleştirilmiş 10 düğümlü üçgen elemanda toplam bilinmeyen sayısı 22'ye eşittir. Şekil 2, 10 düğümlü kübik üçgen elemanı göstermektedir. Şekil 2'de gösterilen 10

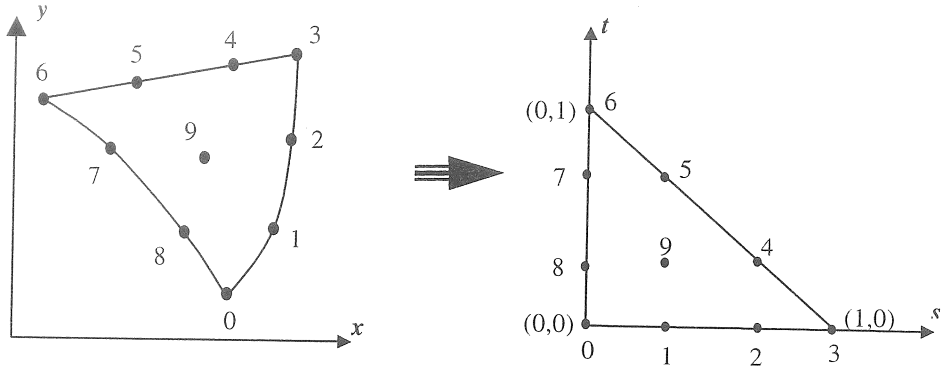
düğümlü zenginleştirilmiş üçgen sonlu elemanın yer değiştirme alanı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{Bmatrix} u_1^{(j)} \\ u_2^{(j)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_0 & 0 & \dots & Z_0(H^{(j)} - [N]H^{(j)}) & Z_0(L^{(j)} - [N]L^{(j)}) \\ 0 & N_0 & \dots & Z_0(I^{(j)} - [N]I^{(j)}) & Z_0(M^{(j)} - [N]M^{(j)}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_0 \\ v_0 \\ u_0 \\ v_0 \\ K_I \\ K_{II} \end{Bmatrix} \quad (3a)$$

$$[N] = [N_0 \ N_1 \ N_2 \ N_3 \ N_4 \ N_5 \ N_6 \ N_7 \ N_8 \ N_9] \quad (3b)$$

Bu eşitlikteki $u_1^{(j)}$ ve $u_2^{(j)}$, sırasıyla 1 ve 2 yönlerindeki yer değiştirmelerdir. j ise 1. denkleme olduğu gibi malzeme numarasını göstermektedir. $[N]$ şekil fonksiyonlarından oluşan 1×10 boyutunda bir matristir. 10 - düğümlü üçgen kübik elemanın şekil fonksiyonları Ek B'de verilmiştir. (3a) numaralı eşitliğin sağ tarafındaki bilinmeyenler vektörü her bir düğüm noktasındaki yer değiştirmelerden ve gerilme şiddeti çarpanlarından oluşmaktadır. Z_0 fonksiyonu ise sıfırlama fonksiyonudur. Bu fonksiyon zenginleştirilmiş sonlu eleman ile onu çevreleyen elemanlar arasındaki uyumluluğu sağlamak için kullanılmaktadır. Çatlak ucunu çevreleyen zenginleştirilmiş sonlu elemanlarda Z_0 bire eşit iken, bu elemanları çevreleyen geçiş elemanlarında Z_0 birden sıfıra doğrusal olarak değişmektedir. Üçgen elemanın düğüm noktalarında ve kenarlarında Z_0 fonksiyonu izoparametrik koordinat sisteminde Ek B'de verilmiştir. Denklem (3a)'da kullanılan $\{H^{(j)}\}$, $\{L^{(j)}\}$, $\{I^{(j)}\}$ ve $\{M^{(j)}\}$ vektörleri $H^{(j)}$, $L^{(j)}$, $I^{(j)}$, ve $M^{(j)}$ fonksiyonları her bir düğüm noktasında hesaplanarak elde edilebilir. Asimptotik alan bu şekilde zenginleştirilmiş eleman formülasyonuna eklendikten sonra gerinim matrisi aşağıdaki gibi kolaylıkla hesaplanabilir:

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_{xx}^{(j)} \\ \epsilon_{yy}^{(j)} \\ \gamma_{xy}^{(j)} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1^{(j)} \\ u_2^{(j)} \end{Bmatrix} \quad (4)$$



Şekil 2. 10 – düğümlü kübik üçgen eleman ve izoparametrik koordinat sistemine izdüşümü

(3) ve (4) numaralı eşitlikleri ve sanal iş prensibini kullanarak zenginleştirilmiş 10 düğüm noktalı üçgen sonlu elemanın elastikiyet matrisini aşağıdaki gibi oluşturmak mümkündür:

$$[K] = \int_{A_e} [B]^T [D][B] dA \quad (5)$$

A_e , 10 – düğümlü bir üçgen elemanın alanıdır. $[B]$ ve $[D]$ matrislerinin nasıl hesaplanacağı ise Ek C’de gösterilmiştir. Zenginleştirilmiş sonlu eleman için elastikiyet matrisini bu şekilde elde ettikten sonra, herhangi bir sonlu elemanlar kodu üzerinde yukarıda belirtilen değişiklikleri yaparak zenginleştirilmiş sonlu elemanlar tekniğini uygulamak mümkündür. Bu çalışmada Lehigh Üniversitesi’nde geliştirilen FRAC2D [15] isimli sonlu elemanlar programı üzerinde gerekli değişiklikler yapılmış ve üçüncü dereceden yerdeğiştirme alanına sahip zenginleştirilmiş sonlu elemanların kullanıldığı bir sonlu elemanlar kodu geliştirilmiştir. Aşağıda da gösterileceği gibi, bu programı kullanarak arayüz çatlak problemlerini yüksek bir doğruluk derecesinde çözmek mümkün olmaktadır.

ÖRNEK PROBLEMLER VE KARŞILAŞTIRMALAR

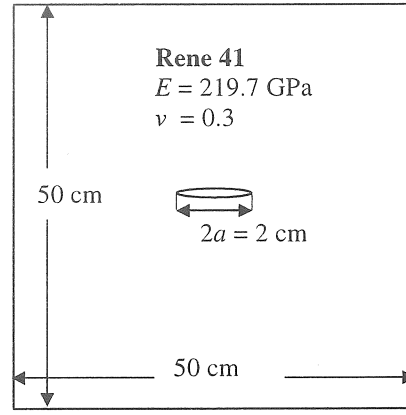
Yukarıda özetlenen zenginleştirilmiş sonlu elemanlar tekniği ile gerilme şiddeti çarpanları olarak tanımladığımız K_I ve K_{II} ’yi sonradan işlem yapmadan doğrudan global doğrusal denklem sistemlerinin çözümünden elde etmek mümkündür. Bu makalede geliştirilen formülasyonu ve sonlu elemanlar tekniğini test etmek için analitik çözümleri bilinen bazı problemler test problemleri olarak kullanılmıştır.

Örnek 1

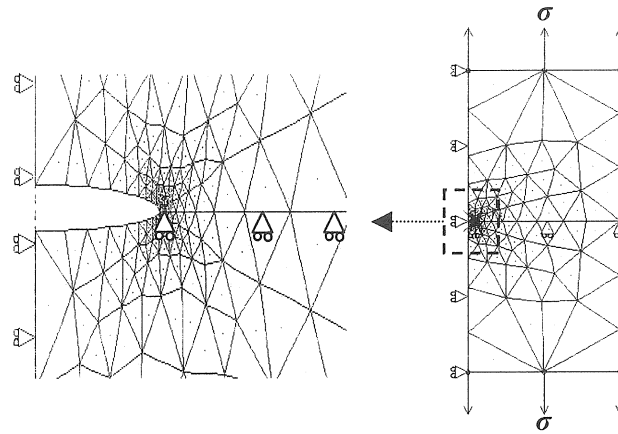
İlk test problemi olarak Şekil 3’de verilen 50 cm x 50 cm boyutlarında, ortasında 2 cm uzunluğund bir çatlak bulunan ve nikel bazlı bir alaşım olan Ren 41 malzemesinden yapılmış homojen bir levha el alınmıştır. Levhaya çatlak düzlemine dik yönde uzatılmış gerilme uygulanmış ve oluşan gerilme şiddet çarpanları hesaplanarak analitik sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Sonlu elemanlar modeli, yükler ve sınır koşulları Şekil 4’de verilmiştir. Sonlu elemanlar modelinde, yukarıda formülasyonu verilen 10 düğüm noktalı kübik üçgen elemanlar kullanılmıştır. Simetriden dolayı geometrinin yarısı modellenmiştir. Bu problemde simetriden dolayı geometrinin sadece dörtte birini modellemek de mümkün olurdu, fakat 2. test probleminde arayüz çatlak modellendiği için, aynı sonlu elemanlar modelini her iki test probleminde de kullanabilmek amacıyla yarım simetri tercih edilmiştir. Test probleminde kullanılan levhanın boyutları çatlak uzunluğuna göre oldukça büyük olduğu için elde edilen sonuçlar, ortasında yatay çatlak bulunan sonsuz büyüklükteki homojen levha için geçerli olan analitik çözüm ile karşılaştırılabilir. Kırılma mekaniğindeki en temel problem olarak nitelenebilecek bu problemin çözümü aşağıdaki gibidir:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a}, \quad K_{II} = 0 \quad (6)$$

Bu denklemde K_I ve K_{II} sırasıyla mod I ve mod II gerilme şiddeti çarpanları, a yarı çatlak boyu, σ levhanın üst ve alt kenarlarına uygulanan dikey gerilmedir (Bakınız Şekil 4). Bu denklem hem düzlem gerilme hem de düzlem gerinim durumları için geçerlidir. Test probleminde uygulanan gerilme değeri $\sigma = 100$ Pa’dır. Karşılaştırma sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 3. İçinde 2 boyutlu merkezi bir çatlak barındıran levha ve malzeme özellikleri. E elastik modül, ν ise Poisson sabitidir.



Şekil 4. Test probleminde kullanılan sonlu elemanlar modeli, yükler, sınır koşulları ve çatlakın deforme olmuş hali.

Çizelge 1. Test problemi için sonuçların karşılaştırılması. $\sigma = 100 \text{ Pa}$.

	Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar		Denklem (6)	
	$K_I (Pa\sqrt{m})$	$K_{II} (Pa\sqrt{m})$	$K_I (Pa\sqrt{m})$	$K_{II} (Pa\sqrt{m})$
Düzlem gerinim	17.733	0.000041	17.724	0.0
Düzlem gerilme	17.730	0.000241	17.724	0.0

Tablodan da anlaşılacağı gibi zenginleştirilmiş sonlu elemanlar ile elde edilen sonuçlardaki hata mod I gerilme şiddeti çarpanları için % 0.05 civarındadır. Bu hatanın nedeni ise sayısal yuvarlamalar ve modelde sonlu geometri kullanılmasıdır. Aynı nedenlerden dolayı sıfır olması gereken mod II gerilme şiddeti çarpanı içinde çok küçük bir hata olduğunu görüyoruz. Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen zenginleştirilmiş sonlu eleman metodunun

arayüz çatlak için formüle edilmiş olmasına rağmen, homojen malzeme içindeki karışık mod çatlak problemlerinin çözümünde de kullanılabileceğini söyleyebiliriz.

Örnek 2

İkinci test problemi olarak iki farklı izotropik malzemenin arasındaki arayüz çatlak ele alınmıştır. Pratik olması amacıyla malzeme olarak türbinlerde

kullanılan metal/seramik ikilisi seçilmiştir. Modelde metal olarak Rene 41 alaşımı ve seramik olarak zirkonya kullanılmıştır. Problem geometrisi 1. test probleminin geometrisi ile aynıdır. Uygulanan sınır koşullarına ise bir ek yapılmış ve sonsuz levha çözümünü taklit edebilmek için levhanın sağ kenarındaki bütün düğüm noktalarının yatay yöndeki yer değiştirmeleri eşit olmaya zorlanmıştır. Bunun nedeni sonsuz levhanın, sonsuz uzaklıkta olan sağ kenarındaki gerininin her iki malzeme için eşit olmasıdır. Bu problemde farklı çatlak boyları ($0 \leq a \leq 6$ cm) ve $\sigma = 100$ Pa için gerilme şiddeti çarpanları ve şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarları hesaplanmış ve mevcut olan analitik çözümler [5] ile karşılaştırılmıştır. Malzemelerin özellikleri ve modelde kullanılan geometri Şekil 5'de gösterilmiştir. Sonsuz düzlemde bulunan arayüz çatlak ucundaki gerilme şiddeti çarpanları için analitik çözüm Rice ve Sih [5] tarafından geliştirilmiştir ve aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$K_I = \frac{\sigma \sqrt{\pi a}}{\cosh \pi \varepsilon} (\cos(\varepsilon \ln 2a) + 2\varepsilon \sin(\varepsilon \ln 2a)) \quad (7a)$$

$$K_{II} = \frac{\sigma \sqrt{\pi a}}{\cosh \pi \varepsilon} (2\varepsilon \sin(\varepsilon \ln 2a) - \sin(\varepsilon \ln 2a)) \quad (7b)$$

ε (2b) eşitliğinde verilmiştir. Arayüz çatlakları ile ilgili kırılma analizlerinde, çatlak ilerlemesinin başlayıp başlamayacağını hesaplamak için kullanılan değişken, şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarıdır [8]. Yüklemeden kaynaklanan şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı, arayüzün kırılma tokluğu ile karşılaştırılarak kırılma analizi yapılabilir. (7) numaralı eşitlikte verilen gerilme şiddeti çarpanlarının bilinmesi durumunda, şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır [5]:

$$G = \frac{(K_I^2 + K_{II}^2)}{E_0 \cosh^2(\pi \varepsilon)} \quad (8)$$

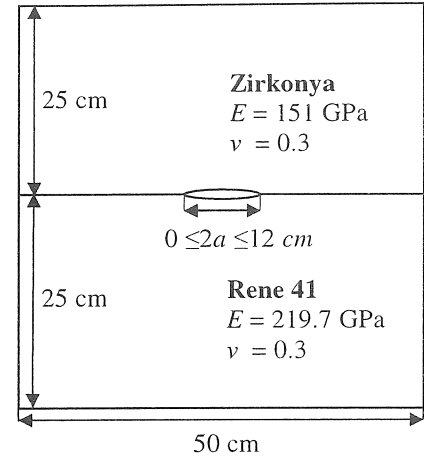
Denklemdaki E_0 sabiti ise düzlem gerinim durumu için:

$$\frac{1}{E_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \quad (9)$$

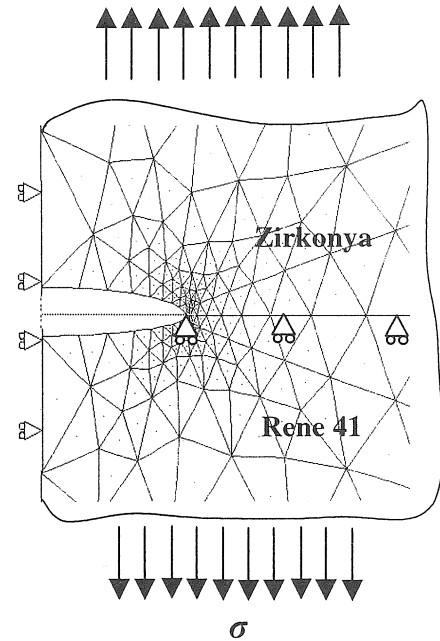
ve düzlem gerilme durumu için ise,

$$\frac{1}{E_0} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \quad (10)$$

eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilir. (8) - (10)'da, K_I ve K_{II} sırasıyla, mod I ve mod II gerilme şiddeti çarpanları, a yarı çatlak boyu, σ levhanın üst ve alt kenarlarına uygulanan dikey gerilim, G , şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı, E ve ν ise malzemelerin elastisite modülü ve Poisson sabitidir. Şekil 6'da arayüz çatlaklarının sonlu elemanlar modeli kullanılarak elde edilen deforme olmuş hali görülmektedir. Şekil 6 ve Şekil 4 karşılaştırıldığında, arayüz çatlaklarının yüzeylerinin simetrik olmayan deformasyonu açık bir şekilde görülmektedir. Bu deformasyon homojen bir malzeme içindeki bir çatlakta simetrikdir.



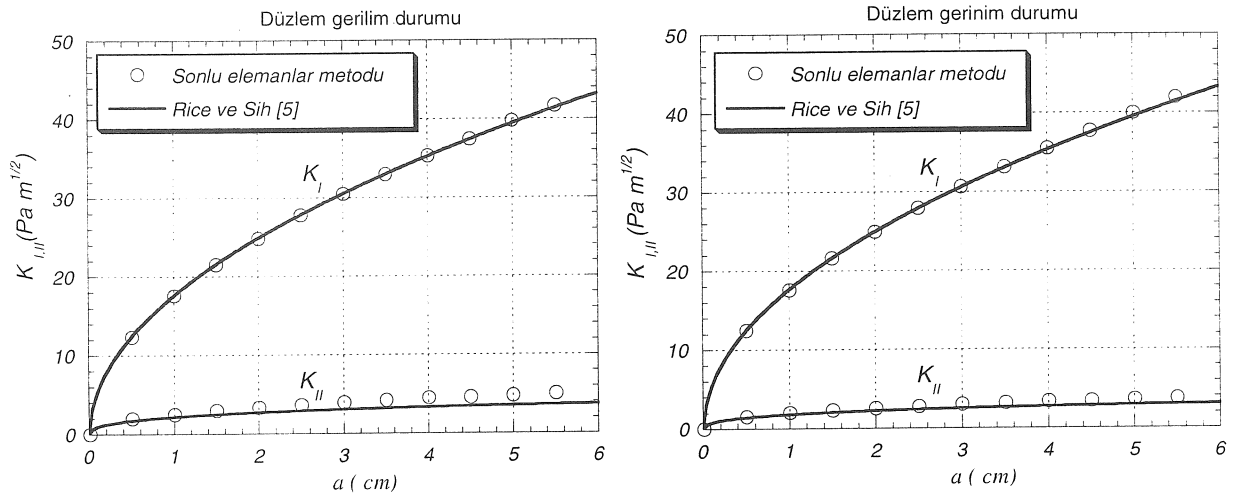
Şekil 5. 2. test problemi geometrisi ve malzeme özellikleri.



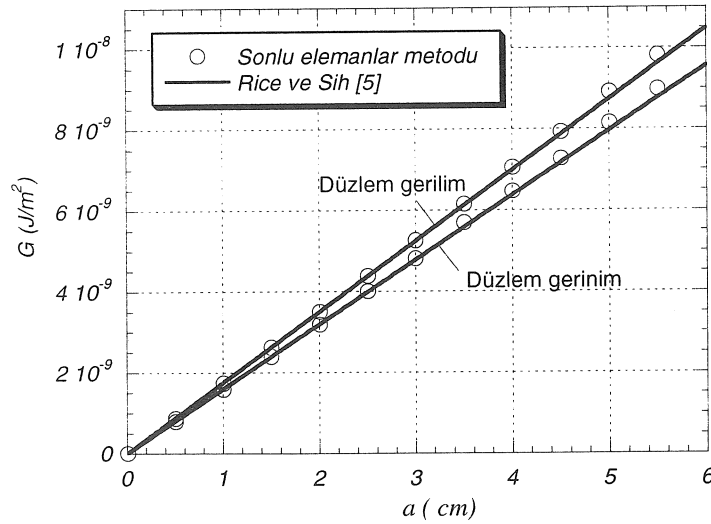
Şekil 6. 2. test probleminde kullanılan sonlu elemanlar modeli, yükler ve sınır koşulları. $\sigma = 100$ Pa. Deforme olmuş model uzamalar 1×10^5 ile çarpılarak çizilmiştir.

Zenginleştirilmiş sonlu elemanlardan ve 7 numaralı eşitlikten elde edilen gerilme şiddeti çarpanlarının karşılaştırması Şekil 7'de verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı gibi özellikle küçük çatlak boyları için analitik ve sayısal sonuçlar birbirine çok yakındır. Fakat çatlak boyu büyüdükçe gerilme şiddeti çarpanlarında farklılıklar gözlenmektedir. Bunun nedeni sonlu elemanlar modelinde, çatlak boyunun levhanın boyuna olan oranının büyümesinden dolayı sonsuz büyüklükteki levha varsayımının çatlak uzunluğu arttıkça geçerliliğini yitirmesidir. Bu problemde tek eksenli yükleme olmasına rağmen arayüz çatlaklarının karakteristiğinden dolayı mod II gerilim şiddeti çarpanı da sıfırdan farklı bir değere sahiptir. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar

yöntemiyle ve (8)-(10) numaralı denklemlerden elde edilen şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarlarının karşılaştırması Şekil 8'de verilmiştir. Yukarıda açıklanan nedenle, büyük çatlak boyları için sonlu elemanlar metodu ile hesaplanan şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarları analitik çözümden az da olsa sapmaktadır. Bu şekide düzlem gerilim ve düzlem gerilme durumlarının arasındaki fark da açıkça görülmektedir ve beklendiği gibi düzlem gerilme durumunda daha fazla enerji bırakımı olmaktadır. Diğer dikkati çeken bir sonuçta, şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ile çatlak boyu arasında doğrusal bir ilişki olmasıdır.



Şekil 7. 2. test problemi için sonlu elemanlar metodu ile hesaplanan gerilme şiddeti çarpanlarının Rice ve Sih [5] tarafından verilen analitik sonuçlar ile karşılaştırılması. $\sigma = 100$ Pa.



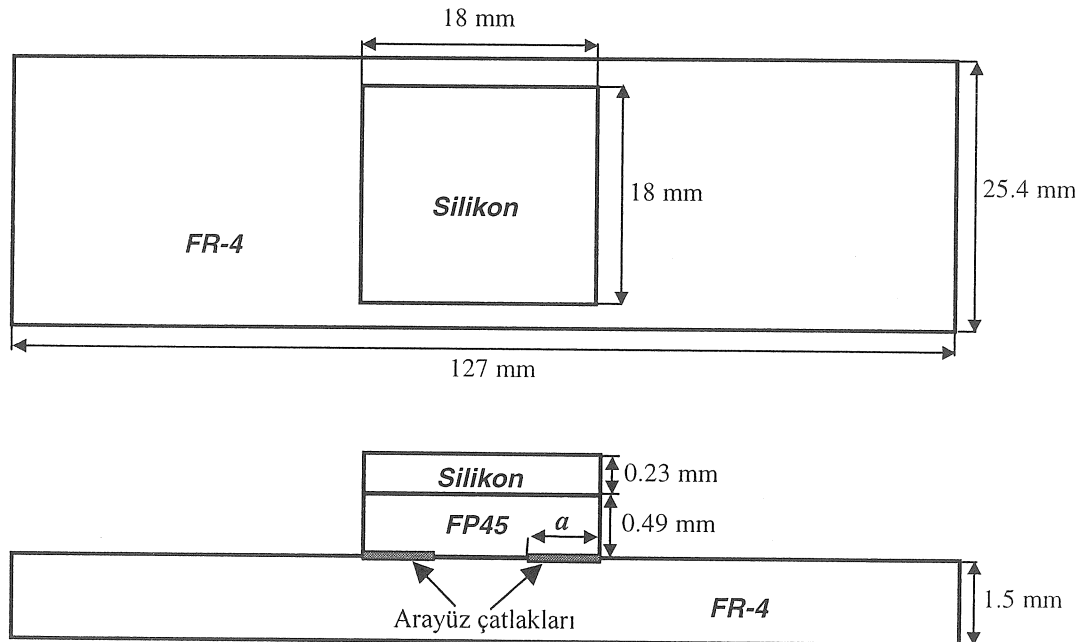
Şekil 8. 2. test problemi için sonlu elemanlar metodu ile hesaplanan şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarlarının Rice ve Sih [5] tarafından verilen analitik sonuçlar ile karşılaştırılması. $\sigma = 100$ Pa.

ARAYÜZ ÇATLAKLARININ KIRILMA MEKANİĞİ İLE İLGİLİ BİR UYGULAMA: DÖRT NOKTA EĞME TESTİ

Arayüz çatlaklarının kırılma mekaniğinin gözönüne alındığı önemli uygulamalardan birisi elektronik uygulamalarında kullanılan yarı-iletken paketlerdir. Bu paketlerde birbirinden farklı mekanik özellikler gösteren malzemeler kullanılmakta ve bu yüzden arayüzlerde çatlak ilerlemesi ve ısıl yüklenme altında malzeme yorulması olaylarına sık sık rastlanılmaktadır. Elektronik paketlerin tasarımında kırılma mekaniği teknolojisinin kullanılabilmesi için, farklı malzemelerin oluşturduğu arayüzlerin bağ dayanımının kırılma mekaniğinde kullanılan parametreler cinsinden ölçülmesi gerekir. Bu parametreler aşağıda da belirtileceği gibi şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ve gerilme şiddeti çarpanlarının oranı kullanılarak hesaplanan faz açısıdır. Bu ölçümlerin pratikte kullanılabilir olması içinde, elde edilen verilerin orijinal test geometrisinden başka geometrilere de uygulanabilir olması gerekmektedir. Bu yüzden ölçümlerin standardlaştırılmış deney düzenekleri ile gerçekleştirilmesi zorunludur.

Bu bölümde yukarıdaki kısımlarda teorik altyapısı açıklanan zenginleştirilmiş sonlu elemanlar teknikleri kullanılarak, sıvı kapsüllenmiş elektronik paketleri için uygulanmakta olan arayüz kırılma testleri modellenmiştir. Elektronik paketlerde kullanılan malzemelerin arayüz kırılma dayanımını belirlemek için genellikle Standard Dört Nokta Eğme Testi uygulanmaktadır. Elektronik paketlerde değişik malzeme katmanları arasındaki bağ kuvvetinin deneysel ölçümü tüm paketin bütünlüğü ile ilgili

hesaplar açısından kritik önem taşımaktadır. Bu özellikle sürekli neme ve sıcaklık değişimine maruz kalan elektronik paketler için çok önemlidir. Arayüz bağ dayanımının ölçülmesinde kırılma mekaniğinin kullanılması arayüz bütünlüğünün karakterizasyonu için günümüzde tercih edilen metod olarak kabul edilmektedir. Bu paketlerdeki arayüzler karışık mod yüklenme altındadır. Araştırmacılar kontrollü karışık mod kırılma testlerini yapabilmek için çeşitli deney düzenekleri geliştirmişlerdir ve genellikle karışık modun kontrollü uygulanan dikey gerilmenin, kesme gerilmesine oranı kontrol edilerek sağlanır. Dört nokta eğme testi ise, karışık mod test metodları arasında en güvenilir olanlardan birisi olarak kabul edilmektedir. Karışık mod kırılma test modellerinde şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarının ve gerilme şiddeti çarpanlarının oranının (K_{II}/K_I) hesaplanması büyük önem taşır, çünkü bu parametreler arayüzlerin karakterizasyonunda kullanılmaktadır. Şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı G , global enerji metodları ile hesaplanabilmesine rağmen, K_{II}/K_I oranını hesaplamak çatlak ucunda yapılması gereken çok hassas bir analizi gerektirir. Bu analizin özellikle sayısal yöntemlerle yapılmasında zorluklar olmasının nedeni gerilme şiddeti çarpanlarının bağlantılı ve iki malzemenin özelliklerine bağlı olmasıdır. Zenginleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemiyle ise bu analizleri yapabilmek mümkündür. Bu çalışmada Dört Nokta Eğme Testini modellemek için zenginleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Modellenen test örneği Şekil 9 da gösterilmiştir.



Şekil 9. Dört nokta eğme testinin uygulandığı test örneği.

Görülebileceği gibi test örneğinde üç ayrı malzeme bulunmaktadır: Silikon, FP45 ve FR4. Bu malzemeler yarı-iletken elektronik paketlerde standard olarak kullanılan malzemelerdir ve bu malzemelerin mekanik özellikleri Tablo 2 de verilmiştir. Dört nokta eğme deneylerinde FP45 ile FR4 malzemeleri arasında Şekil 9 da görülebileceği gibi iki adet arayüz çatlağı kullanılır. Kırılma esnasında bu çatlakların ucunda oluşan şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarını deneysel olarak ölçmek mümkündür. Bu ölçüm sonucunda deneyde kullanılan malzeme çifti için (FP45 – FR4) geçerli olan kırılma tokluğu belirlenir. Bu çalışmada ise şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı sonlu elemanlar modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 10'da test örneğinin yüklenme şekli gösterilmiştir. Öncelikle dört nokta eğme ile yüklenen numunenin küçük deformasyon ve rotasyona maruz kaldığı kabul edilerek doğrusal sonlu elemanlar problemi çözülmüş ve farklı çatlak uzunlukları için ($1 \text{ mm} \leq a \leq 7 \text{ mm}$) şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarları ve faz açıları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda $P = 2 \text{ N}$ olarak alınmıştır.

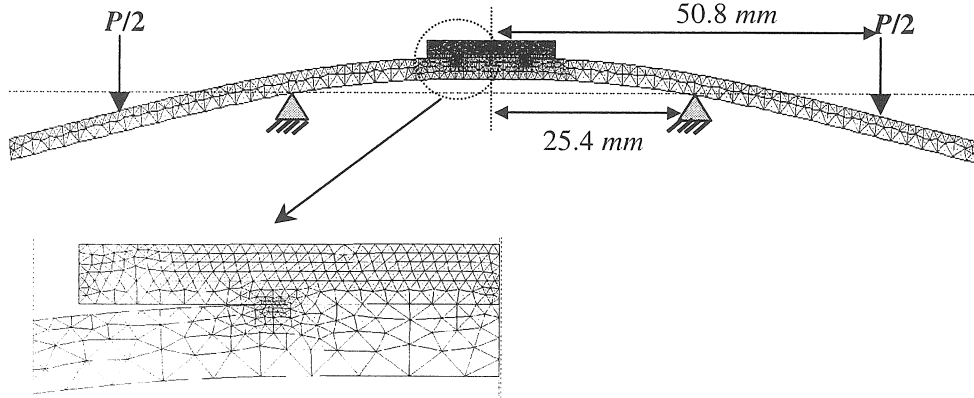
Çizelge 2. Test örneğini oluşturan malzemelerin mekanik özellikler

	E (Pa)	ν
Silikon	$1.299 (10)^{11}$	0.279
FP45	$1.21(10)^{10}$	0.35
FR-4	$2.34(10)^{10}$	0.33

Dört nokta eğme deneyinde K_{II}/K_I oranının bilinmesi bağ dayanımının hesaplanmasında büyük önem taşımaktadır. Arayüzün bağ dayanımı kritik şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarına bağlıdır. Kritik şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ise faz açısına bağlı olarak değişmektedir [8]. Faz açısının formülü aşağıdaki gibidir:

$$\text{Faz açısı} = \tan^{-1}(K_{II}/K_I) \quad (11)$$

Sonlu elemanlar modeli ile elde edilen sonuçlar Şekil 11 ve 12'de gösterilmiştir. Şekil 11 ve 12'de sırasıyla, iki çatlaktan herhangi birinin ucundaki şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ve faz açısı verilmiştir. Bu şekillerden anlaşılacağı gibi şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ve faz açısı çatlak boyundan çok fazla etkilenmemektedir, yani farklı çatlak boyları için bu parametreler sabittir. Bu iki parametrenin sabit olması gerilme şiddet çarpanlarının da çatlak boyundan etkilenmediğini göstermektedir. Şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarının çatlak boyundan bağımsız olması kırılma deneylerinde arzu edilen bir durumdur çünkü bu durumun geçerli olduğu deney düzenekleri ile yapılan deneylerde çatlak uzunluğunu ölçmeye gerek kalmamaktadır. İkinci olarak ise çatlak boyu sabit tutularak ($a = 4 \text{ mm}$) yarı yük $P/2$, 0 ile 200 N arasında değiştirilmiş ve her yarı yüke karşı gelen şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı hesaplanmıştır. Modeller değiştirilmeden aynı sonuçlar sonlu elemanlar programının büyük



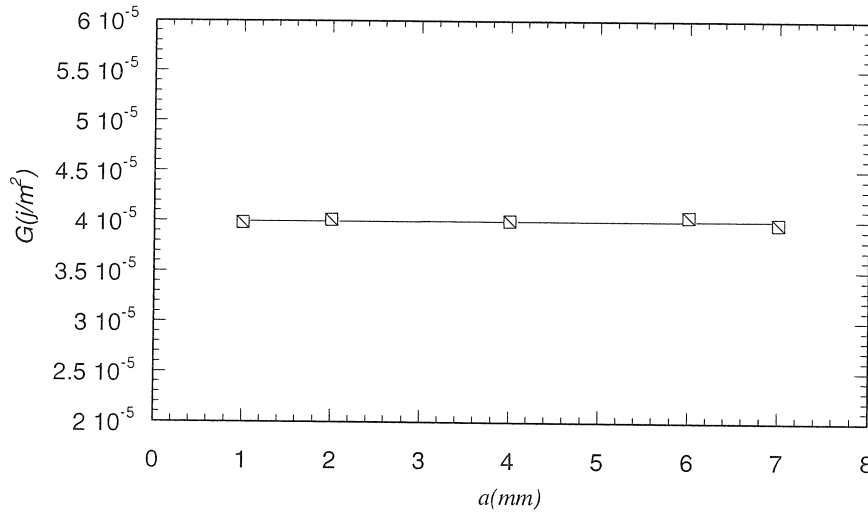
Şekil 10. Dört nokta eğmeye tabi tutulan test örneğinin sonlu elemanlar modeli ve arayüz çatlığının yakından görünüşü.

deformasyon ve rotasyon opsiyonu kullanılarak da hesaplanmıştır. Büyük deformasyon ve rotasyon formülasyonu ile ilgili detaylar [15]'de bulunabilir. Sonuçlar Şekil 13 de gösterilmiştir. 60 N'a kadar uygulanan yükler doğrusal bir deformasyona neden olmakta ve 60 N'dan küçük yarım yük değerleri için geometride büyük rotasyon ve deformasyon oluşmamaktadır. Genelde bu çalışmada kullanılan malzemeler ile uygulanan, dört nokta eğme deneylerinde kullanılan yükler 60 N'un altında olacağı için, doğrusal, küçük deformasyon analizi ile elde edilen sonuçlar yeterli doğrulukta olacaktır. Ancak 60 N'dan büyük yükler için doğrusal olmayan büyük deformasyon ve rotasyon analizi yapılmalıdır.

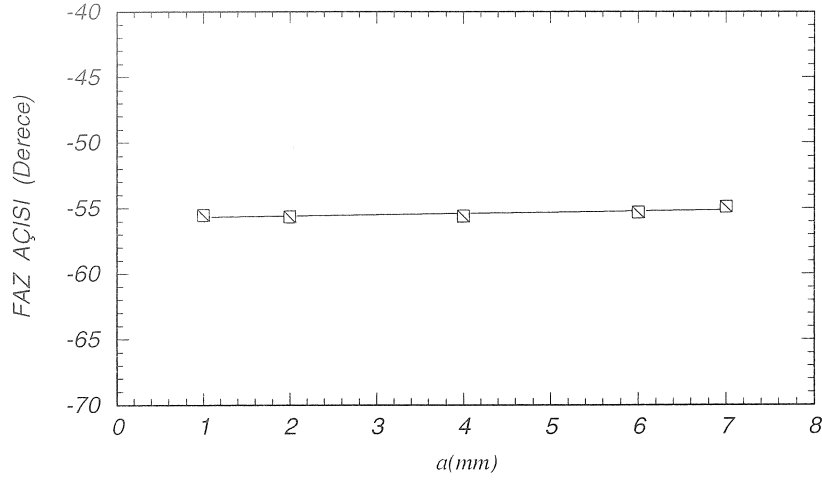
SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada arayüz çatlak problemlerini çözebilmek için zenginleştirilmiş sonlu elemanlar kullanılmıştır. 10 düğümlü kübik sonlu elemanın çatlak ucundaki asimptotik yerdeğiştirme alanları kullanılarak nasıl zenginleştirilebileceği gösterilmiş ve bu elemanlar kullanılarak bir sonlu elemanlar programı geliştirilmiştir. Sonsuz homojen ortamda bulunan bir çatlak için yapılan hesaplamalarda, geliştirilen programın homojen ortamda bulunan çatlaklar için de doğru sonuç verdiği gösterilmiştir. Bu problemdeki hata oranı yaklaşık % 0.05'dir. Arayüz çatlak için yapılan testde de, zenginleştirilmiş sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen sonuçlardaki hatanın oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu derecede bir doğruluk seviyesine diğer sonlu elemanlar yöntemleriyle (Örneğin, çatlak

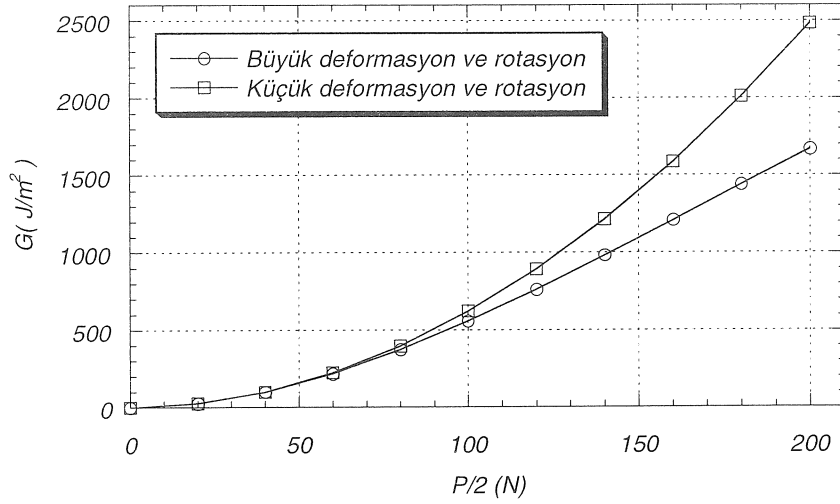
ucuna tekil elemanlar koyma tekniği veya çatlak ucunu kapama tekniği) ulaşmak ise oldukça zordur. Yukarıda bahsedilen iki test probleminde elde edilen sonuçlar, hem sonsuz homojen ortamda bulunan çatlak probleminde hem de sonsuz ortamda bulunan arayüz çatlaklarında, şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ile çatlak uzunluğu ilişkisinin normal yüklemeye altında doğrusal olduğunu göstermiştir. Kullanılan yöntemin doğruluğu ve güvenilirliği bu şekilde test edildikten sonra dört nokta eğme testi, geliştirilen elemanlarla modellenmiştir. Dört nokta eğme testi özellikle yarı-iletken paketlerde kullanılan farklı malzemelerin arayüzlerinin bağ dayanımını ölçmekte kullanılmaktadır. Dört nokta eğme testinde, şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarı ve faz açısının kullanılan çatlak uzunluğu aralığında sabit olduğu gösterilmiştir. Bu ise, bu testin tercih edilmesinin nedenlerinden biridir. Şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarının sabit olması test sırasında çatlak uzunluğunu ölçmeyi gereksiz kılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan test örneğinin, dört nokta eğme altındaki davranışı büyük deformasyon ve rotasyon formülasyonu kullanılarak da incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar 60 N'dan büyük yarım yükler için doğrusal elastik modelin yeterli doğrulukta sonuç vermediğini göstermektedir. Bu yük aralığında büyük deformasyon ve rotasyon formülasyonu kullanılmaktadır. Ancak, genelde bu çalışmada gözönüne alınan malzemelerin kullanıldığı dört nokta eğme testlerinde kullanılan yükler 60 N'un altında olacağı için, doğrusal küçük deformasyon analizi ile elde edilen sonuçlar yeterli doğrulukta olacaktır.



Şekil 11. Şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarının çatlak boyuna göre değişimi. $P = 2$ N. (düzlem gerinim)



Şekil 12. Faz açısının çatlak boyuna göre değişimi. $P = 2$ N. (düzlem gerinim)



Şekil 13. Şekil değiştirme enerjisi bırakma miktarının uygulanan yüke göre değişimi. $a = 4$ mm.

MODELLING OF INTERFACE CRACKS USING ENRICHED FINITE ELEMENTS AND THE FOUR POINT BENDING TEST

In engineering applications where materials with different thermomechanical properties are used, some of the problems that are endangering the structural integrity are due to interface cracks. In fracture mechanics applications where these cracks may initiate and further propagate depending on the loading conditions, it is necessary to calculate the stress intensity factors and the strain energy release rate at the crack tip. In this study, in order to be able to calculate these variables using the finite element method, a new type of finite element is developed and implemented. This element is called the enriched finite element and its displacement field contains the

asymptotic interface crack tip displacement field that is obtained from the elasticity solution. The crack problem in a homogeneous half plane and the problem of interface crack are solved using the developed finite element technique and the results are compared to those obtained from the analytical formulations. It is shown that, the developed method is capable of giving results of high accuracy. Lastly, the four point bending test which is generally conducted to determine interface bonding strength in semi-conductor electronic packages is modelled using the enriched finite elements and the results are briefly discussed.

Keywords: Interface Crack, Enriched Finite Elements, Stress Intensity Factors, Strain Energy Release Rate, Four Point Bending Test.

EKLER

EK A

Çatlak ucu yerdeğiştirme alanlarında kullanılan fonksiyonlar

$$H^{(j)} = \frac{1}{4\mu_j \cosh(\pi\varepsilon)} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} (D_j + 2\delta_j \sin(\theta) \sin(\Theta)) \quad (\text{A1})$$

$$L^{(j)} = -\frac{1}{4\mu_j \cosh(\pi\varepsilon)} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} (E_j - 2\delta_j \sin(\theta) \cos(\Theta)) \quad (\text{A2})$$

$$I^{(j)} = \frac{1}{4\mu_j \cosh(\pi\varepsilon)} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} (E_j + 2\delta_j \sin(\theta) \cos(\Theta)) \quad (\text{A3})$$

$$M^{(j)} = -\frac{1}{4\mu_j \cosh(\pi\varepsilon)} \sqrt{\frac{r}{2\pi}} (D_j - 2\delta_j \sin(\theta) \sin(\Theta)) \quad (\text{A4})$$

$$\delta_1 = \exp(-(\pi - \theta)\varepsilon), \quad \delta_2 = \exp((\pi + \theta)\varepsilon) \quad (\text{A5a,b})$$

$$\Theta = \varepsilon \ln r + \frac{\theta}{2} \quad (\text{A6})$$

$$D_j = \beta\gamma_j \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) + \beta'\gamma'_j \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (\text{A7a})$$

$$E_j = \beta'\gamma_j \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) - \beta\gamma'_j \sin\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (\text{A7b})$$

$$\beta = \frac{0.5 \cos(\varepsilon \ln r) + \varepsilon \sin(\varepsilon \ln r)}{0.25 + \varepsilon^2} \quad (\text{A8a})$$

$$\beta' = \frac{0.5 \sin(\varepsilon \ln r) - \varepsilon \cos(\varepsilon \ln r)}{0.25 + \varepsilon^2} \quad (\text{A8b})$$

$$\gamma_j = \kappa_j \delta_j - \frac{1}{\delta_j}, \quad \gamma'_j = \kappa_j \delta_j + \frac{1}{\delta_j} \quad (\text{A9a,b})$$

Eşitliklerde kullanılan ε (2b) eşitliğinde verilmiştir.

EK B

10 - düğümlü üçgen kübik sonlu elemanın şekil fonksiyonları ve sıfırlama fonksiyonu

$$N_0 = \frac{1}{2}(1-s-t)(2-3s-3t)(1-3s-3t) \quad (\text{B1})$$

$$N_1 = \frac{9s}{2}(1-s-t)(2-3s-3t) \quad (\text{B2})$$

$$N_2 = \frac{9s}{2}(1-s-t)(3t-1) \quad (\text{B3})$$

$$N_3 = \frac{s}{2}(3s-1)(3s-2) \quad (\text{B4})$$

$$N_4 = \frac{9st}{2}(3s-1) \quad (\text{B5})$$

$$N_5 = \frac{9st}{2}(3t-1) \quad (\text{B6})$$

$$N_6 = \frac{t}{2}(3t-1)(3t-2) \quad (\text{B7})$$

$$N_7 = \frac{9t}{2}(1-s-t)(3t-1) \quad (\text{B8})$$

$$N_8 = \frac{9t}{2}(1-s-t)(2-3s-3t) \quad (\text{B9})$$

$$N_9 = 27st(1-s-t) \quad (\text{B10})$$

$$Z_0(s,t) = \begin{cases} 1-s-t & ; \text{ Köşe düğüm noktasından sıfırlama için} \\ s & ; \text{ Köşe düğüm noktasından sıfırlama için} \\ t & ; \text{ Köşe düğüm noktasından sıfırlama için} \\ s+t & ; \text{ Eleman kenarından sıfırlama için} \\ 1-s & ; \text{ Eleman kenarından sıfırlama için} \\ 1-t & ; \text{ Eleman kenarından sıfırlama için} \end{cases} \quad (\text{B11})$$

EK C

Zenginleştirilmiş sonlu eleman elastikiyet matrisinde kullanılan [B] ve [D] matrisleri

Sanal iş prensibi kullanılarak elastikiyet matrisinde kullanılan [B] matrisi aşağıdaki gibi bulunmuştur:

$$[B] = \begin{bmatrix} \frac{\partial N_0}{\partial x} & 0 & \dots & \frac{\partial N_9}{\partial x} & 0 & a^{(j)} & b^{(j)} \\ 0 & \frac{\partial N_0}{\partial y} & \dots & 0 & \frac{\partial N_9}{\partial y} & c^{(j)} & d^{(j)} \\ \frac{\partial N_0}{\partial y} & \frac{\partial N_0}{\partial x} & \dots & \frac{\partial N_9}{\partial y} & \frac{\partial N_9}{\partial x} & e^{(j)} & f^{(j)} \end{bmatrix} \quad (\text{C1})$$

$$a^{(j)} = Z_0 \left(\frac{\partial H^{(j)}}{\partial x} - \left[\frac{\partial N}{\partial x} \right] \{H^{(j)}\} \right) + \frac{\partial Z_0}{\partial x} (H^{(j)} - [N] \{H^{(j)}\}) \quad (\text{C2a})$$

$$b^{(j)} = Z_0 \left(\frac{\partial L^{(j)}}{\partial x} - \left[\frac{\partial N}{\partial x} \right] \{L^{(j)}\} \right) + \frac{\partial Z_0}{\partial x} (L^{(j)} - [N] \{L^{(j)}\}) \quad (\text{C2b})$$

$$c^{(j)} = Z_0 \left(\frac{\partial I^{(j)}}{\partial y} - \left[\frac{\partial N}{\partial y} \right] \{I^{(j)}\} \right) + \frac{\partial Z_0}{\partial y} (I^{(j)} - [N] \{I^{(j)}\}) \quad (\text{C2c})$$

$$d^{(j)} = Z_0 \left(\frac{\partial M^{(j)}}{\partial y} - \left[\frac{\partial N}{\partial y} \right] \{M^{(j)}\} \right) + \frac{\partial Z_0}{\partial y} (M^{(j)} - [N] \{M^{(j)}\}) \quad (C2d)$$

$$e^{(j)} = Z_0 \left(\frac{\partial H^{(j)}}{\partial y} - \left[\frac{\partial N}{\partial y} \right] \{H^{(j)}\} + \frac{\partial I^{(j)}}{\partial x} - \left[\frac{\partial N}{\partial x} \right] \{R^{(j)}\} \right) + \frac{\partial Z_0}{\partial y} (H^{(j)} - [N] \{H^{(j)}\}) + \frac{\partial Z_0}{\partial x} (I^{(j)} - [N] \{I^{(j)}\}) \quad (C2e)$$

$$f^{(j)} = Z_0 \left(\frac{\partial L^{(j)}}{\partial y} - \left[\frac{\partial N}{\partial y} \right] \{L^{(j)}\} + \frac{\partial M^{(j)}}{\partial x} - \left[\frac{\partial N}{\partial x} \right] \{M^{(j)}\} \right) + \frac{\partial Z_0}{\partial y} (L^{(j)} - [N] \{L^{(j)}\}) + \frac{\partial Z_0}{\partial x} (M^{(j)} - [N] \{M^{(j)}\}) \quad (C2f)$$

[D] matrisi ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

Düzlem gerinim durumu için:

$$[D] = \frac{E_j}{(1+\nu_j)(1-2\nu_j)} \begin{bmatrix} 1-\nu_j & \nu_j & 0 \\ \nu_j & 1-\nu_j & 0 \\ 0 & 0 & (1-2\nu_j)/2 \end{bmatrix} \quad (C3a)$$

Düzlem gerilim durumu için:

$$[D] = \frac{E_j}{(1-\nu_j)^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu_j & 0 \\ \nu_j & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu_j)/2 \end{bmatrix} \quad (C3b)$$

Fonksiyonların kartezyen koordinatlara göre olan türevleri aşağıdaki denklemler kullanılarak kutupsal koordinatlarda yazılabilir:

$$\frac{\partial}{\partial x} = \cos \theta \frac{\partial}{\partial r} - \sin \theta \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad (C4a)$$

$$\frac{\partial}{\partial y} = \sin \theta \frac{\partial}{\partial r} + \cos \theta \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \quad (C4b)$$

Fiziksel koordinat sistemindeki türevleri izoparametrik koordinat sistemindeki türevler cinsinden yazabilmek için ise aşağıda verilen dönüşüm kullanılır:

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} \\ \frac{\partial}{\partial y} \end{Bmatrix} = \frac{1}{|J|} \begin{bmatrix} \frac{\partial y}{\partial r} & -\frac{\partial y}{\partial s} \\ -\frac{\partial x}{\partial r} & \frac{\partial x}{\partial s} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \frac{\partial}{\partial r} \\ \frac{\partial}{\partial s} \end{Bmatrix} \quad (C5a)$$

$$|J| = \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial y}{\partial r} - \frac{\partial x}{\partial r} \frac{\partial y}{\partial s} \quad (C5b)$$

KAYNAKÇA

- Williams, M.L., The stresses around a fault or crack in dissimilar media, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 49 (1959), 199 – 204.
- Muskhelishvili, N.I., *Some Basic Problems of the Mathematical Theory of Elasticity*, Noordhoff, Leyden, 1953.
- Erdoğan, F., Stress distribution in a nonhomogeneous elastic plane with cracks, *Journal of Applied Mechanics*, 32 (1963), 232 – 237.
- England, A.H., A crack between dissimilar media, *Journal of Applied Mechanics*, 32 (1965), 400-402.
- Rice, J.R. and Sih, G.C., Plane problems of cracks in dissimilar media, *Journal of Applied Mechanics*, 32 (1965), 418 – 423.
- Comninou, M., The interface crack, *Journal of Applied Mechanics*, 44 (1977), 631 – 636.
- Rice, J.R., Elastic fracture concepts for interfacial cracks, *Journal of Applied Mechanics*, 55 (1988), 379 – 386.
- Hutchinson, J.W. and Suo, S., Mixed mode cracking in layered materials, *Advances in Applied Mechanics*, 29 (1992), 63 – 191.
- Van der Zande, H.W. and Grootenboer, H.J., A finite element approach to interface cracks, *Journal of Applied Mechanics*, 53 (1986), 573 – 578.
- Venkatesha, K.S., Dattaguru, B. and Ramamurthy, T.S., Finite element analysis of an interface crack with large crack tip contact zones, *Engineering Fracture Mechanics*, 54 (1996), 847 – 860.
- Sun, C.T. and Jih, C.J., On strain energy release rates for interfacial cracks in bi-material media, *Engineering Fracture Mechanics*, 28 (1987), 13 – 20.
- Chen, E.P., Finite element analysis of a bimaterial interface crack, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, 3 (1985), 257 – 262.
- Kaya, A.C. and Nied, H.F., Interface fracture analysis of bonded ceramic layers using enriched finite elements, *Ceramic Coatings*, ASME MD, 44, (1993), 47 – 71.
- Chiu, Tz-C., Buckling of graded coatings – A continuum model, Doktora Tezi, Lehigh University, Bethlehem, PA, USA, 1999.
- Yıldırım, B., Nonlinear thermal stress/fracture analysis of multilayer structures using enriched finite elements, Doktora Tezi, Lehigh University, Bethlehem, PA, USA, 2000.

Hakan Dilipak
Dr.

Ahmet Özdemir
Doç. Dr.

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim
Fakültesi, Makina Eğitimi Bölümü
ANKARA

Bilgisayar Destekli Alt Kurgu Belirlenmesi, Alt Kurgu Sıralarının Üretilmesi ve Grafik Olarak Gösterilmesi

Ürünlerin kurgu (montaj) tasarımı CAD/CAM sistemlerinin en önemli konularından biri olmaya başlamıştır. Bu çalışmada, kurgu sıralarının alt kurguya (alt montaja) dayalı olarak üretilmesi gerçekleştirilmiş ve böylece kurgu sıralarının üretilmesi sırasında harcanan sürenin azaltılması sağlanmıştır. Birleştirilmiş halde katı model olarak tasarlanan endüstriyel ürünlerin kullanıcı etkileşimi olmadan muhtemel bütün alt kurguları belirlenmiştir. Daha sonra, belirlenen alt kurguların muhtemel bütün kurgu sıraları üretilmiştir. Son olarak her alt kurgu için üretilen kurgu sıraları, irtibat sıra grafiğiyle tasarımcıya sunulmuştur. Çalışma, AutoCAD 2000 paket programında, Visual LISP, Visual BASIC ve Turbo PASCAL programlama dilleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayar destekli kurgu, alt kurgu belirlenmesi, kurgu sırası üretme, irtibat sıra grafiği

GİRİŞ

Endüstriyel bir ürünün kurgusu yapılırken, günümüz üretim mantığına göre ürüne ait birden fazla parça ayrı bir yerde birleştirilerek alt kurgusu oluşturulabilmekte ve ana kurguya sanki tek bir parçaymış gibi birleştirilmektedir. Bu şekilde, bir ürüne ait parçaların bir grup halinde birleştirilmesi, alt kurgu olarak adlandırılmıştır [1].

Günümüz teknolojisinde, ürünlerin henüz tasarım aşamasında kurgu sıralarının üretilmesi oldukça önemlidir. Bilgisayar destekli olarak kurgu sıralarının üretilmesi, özellikle parça sayısı fazla olan ürünlerde oldukça uzun sürmektedir. Bir kurgu işlemi, kurgusu yapılacak ürünün her bir parçasının ve alt kurgusunun diğer parçalara göre konumunu belirlemek, bunları doğru ve mantıklı olarak sıralamaktır. Ürünü oluşturan parça sayısının artması ve kurgu sıralarının çeşitliliğinin büyümesi dikkate alındığında, bu sırayı otomatik olarak belirlemek oldukça karmaşık bir işlemi beraberinde getirmektedir.

Alt kurgular halinde yapılan bir kurgu işleminde, ana kurguya dahil edilecek parça sayısının azalmasıyla özellikle, kurgu sırasının bilgisayarda üretilme süresinde çok büyük zaman kazançları olmaktadır. Önce ürünün alt kurgularının belirlenmesi ve bu alt kurguların, kurgu sıralarının üretilmesi esnasında değerlendirilmesi, araştırmacılar için çalışma konusu olmuştur.

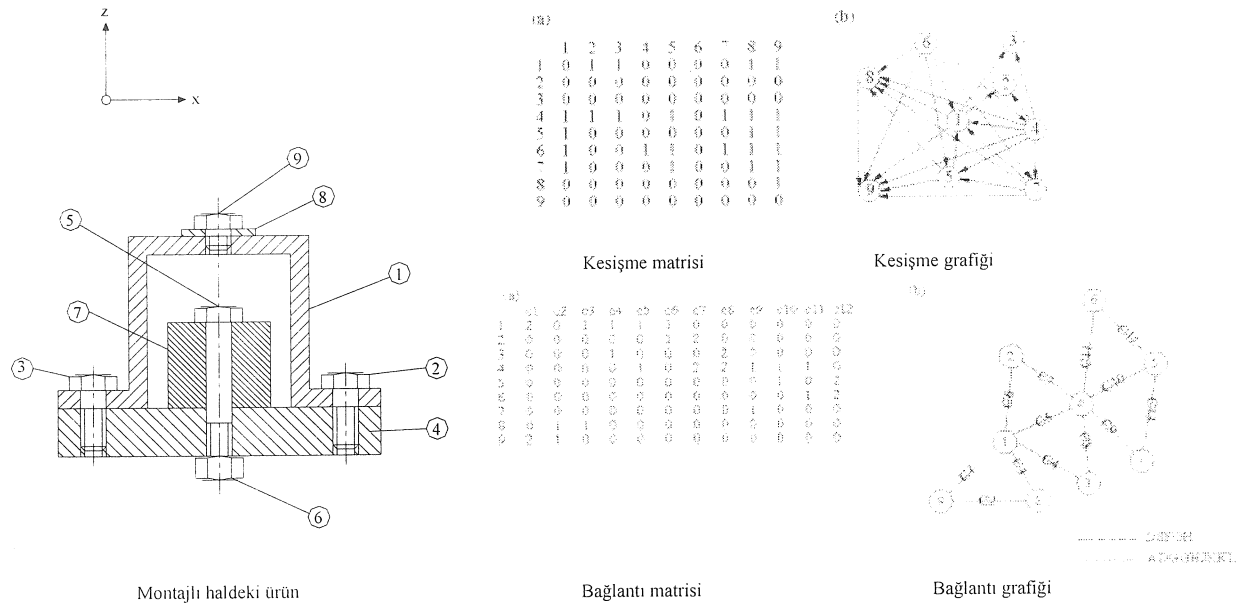
Yapılan yayın taraması, kurgu alanında bir çok çalışmanın yapıldığını ve bu çalışmaların hedefinin ürüne ait en uygun kurgu sıralarının öncelikle belirlenmesi olduğunu göstermektedir. Ancak, yapılan bir çok çalışma, kullanıcı ile etkileşimli çalıştığı için, kullanıcıdan kaynaklanan hatalar ve kullanıcının deneyiminin sağlayacağı olumlu veya olumsuz yönlerin varlığını da beraberinde getirmiştir. Bunun yanında, kurgu sıralarının üretilmesi için tüm muhtemel seçenekler denendiği için kurgu sıralarının üretilme süreleri oldukça uzun sürmektedir. Bu süreyi kısaltmak için, önce alt kurguların belirlendiği daha sonra da kurgu sıralarının üretildiği çalışmaların da ağırlık kazandığı görülmektedir [2 – 8].

Ürünlerin kurgu sıraları üretilirken, her parça bütün aşamalarda birleştirilip birleştirilmediği tek tek kontrol edilmektedir. Bu durum, özellikle parça sayısı fazla olan endüstriyel ürünlerin kurgu sıralarının üretilmesinin çok uzun sürmesine sebep olmaktadır. Araştırmacılar, öncelikle bu sürenin azaltılması için, ürünün parçalarını alt kurgular halinde gruplayarak parça sayısının azaltılması yönünde çalışmalar yapmıştır [9, 10, 11]. Kurgu sıraları üretilirken, kural tabanlı [9], ürünlerin temas ve sökülme durumlarına göre irtibat ilişkilerinin belirtildiği matrisler [10, 12, 13] ve genetik algoritma kullanılarak [14] kurgu sıraları üretilmiştir. Ürünün parçaları arasındaki irtibat ilişkilerinin belirlenmesinde, kesişme grafiği [10], bağlantı grafiği [10, 15], kesişme matrisi [10, 12], bağlantı matrisi [10, 12], temas matrisi [12, 13], taşıma matrislerinden [13] yararlanılmıştır. Kurgu

sıraları üretilirken ürünün sökülerek analizinden yararlanıldığı tespit edilmiştir [10, 12, 13, 16]. Üretilen kurgu sıraları, kurgu sıra grafiği [13], ve/veya grafiği [17], irtibat sıra grafiği [18] ile kullanıcıya sunulmuştur.

Subramani ve Devhurst [7], ürünlerin belirli servisler veya tamir parçaları için ihtiyaç duyulan alt kurgu sıralarının üretilmesini gerçekleştirmiştir. Dini ve Santochi [12], kurgu sıralarının bilgisayar programları ile belirlenebilmesi ve alt kurgunun belirlenmesi için, alt kurgu ile diğer parçalar arasındaki matematiksel ifadeyi üretmede kullanılan kesişme, temas ve bağlantı matrislerinden yararlanmıştır. Oliver ve Huang'ın [16] çalışmasında, otomatik kurgu tasarımını kolaylaştırmak ve sabit parça veya alt kurguları referans almak için serbest parçalarla çarpışma yolunu bulan bir yaklaşım anlatılmaktadır. Kurgu yolları, ürünün sökülme sırası belirlendikten sonra, bu sıranın tersi alınıp birleştirilme sırası olarak üretilmektedir.

Ong ve Wong [10], kurgu sırasının üretilmesi işleminin oldukça uzun sürmesinden hareketle, bu süreyi azaltmak için, alt kurgulardaki parçaları beraber gruplayarak, bağımsız parçaları bu alt kurgulara eklemişlerdir. Böylece, ürünü oluşturan parça sayısı azalmakta ve dolayısıyla kurgu sırasını üretmede harcanan zaman da kısalmaktadır. İlk olarak ürün modelinden kullanıcı etkileşimli olarak bağlantı ve kesişme matris ve grafikleri oluşturulmuştur. Hazırlanan matris ve grafiklere matematiksel işlemler uygulanarak, sökülme sırası oluşturulmakta ve daha sonra, alt kurgu algılanması gerçekleştirilmektedir. Belirlenen alt kurgulardan, ana parça ile irtibatlı alt kurgular iptal edilmektedir. Şekil 1'de, ürün, kesişme matrisi, kesişme grafiği, bağlantı matrisi ve bağlantı grafiği verilmiştir. Buna göre bu ürünün üretilen kurgu sırası, Çizelge 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Dokuz parçalı bir ürün, ürüne ait bağlantı, kesişme matrisleri ve grafikleri [10]

Çizelge 1. Şekil 2'deki ürün için oluşturulan kurgu sıraları [10]

Sıra Numarası	Parça Numarası	Sökülme Yönü
1	2 veya 3	+Z
2	3 veya 2	+Z
3	1 Nolu Alt kurgu	+Z
4	5	+Z
5	7	+Z
6	6	-Z
7	4	-Z
1 Numaralı Alt kurgunun Sökülme Sırası		
8	9	+Z
9	8	+Z
10	1	+Z

Gottipoli ve Gosh [13] ise, ürünlerin kurgu sıralarını alt kurgu dahil olmak üzere üretmişler ve üretilen sıraları kurgu sıralama grafiğinde kullanıcıya sunmuşlardır. PADL-2 katı modelleme sistemi kullanılarak oluşturulan kurgunun geometrik modeline, çarpma - algılama modeli uygulandıktan sonra, temas ve geçme fonksiyonları oluşturulmuş ve bu fonksiyonlara göre muhtemel kurgu sıraları üretilmiştir.

Zussman ve arkadaşları [15] tarafından, alt kurguların uygun kurgu sıralarını belirlemek için etkili bir algoritma kullanılmaktadır. Homem de Mello ve Sanderson [17] tarafından yapılan çalışmada, kurgu sıralarının üretilmesi için bir algoritma kurulmuştur. Bu algoritma, kurgu sıralarına karşılık gelen ve/veya grafik örneklerine dönüştürülmüştür. Lazzarini ve Marcelloni [14], kurgu planlarını değerlendiren ve üreten genetik bir algoritma önermektedir. Kurgu sıralarının üretilmesi için parçalar alt kurgular şeklinde gruplandırılmaktadır. Chakrabarty ve Wolter [19] tarafından yapılan çalışmada, kurgu sıralarının oluşturulma mantığı, parçaların birleştirilerek alt kurguları, geriye kalan parça ve alt kurguların da monte edilmesi şeklindedir. Arieve ve Kramer [20] çalışmalarında, alt kurgu operasyonlarının farklı kombinasyonlarının dikkate alınmasıyla muhtemel bütün kurgu sıralarının güvenli bir şekilde üretildiği bir yöntemi anlatmaktadır.

Bu makalenin konusu olan çalışmada, çok uzun süren kurgu sıralarının üretilme sürelerinin azaltılması için, alt kurgusunun belirlenmesi ve alt kurguya dayalı olarak kurgu sıralarının üretilmesi ve bu işlemlerin kullanıcı etkileşimi olmadan yapılması hedef alınmıştır. Bunun için endüstriyel ürünler, CAD ortamında katı model olarak tasarlanmıştır. Daha sonra bu modelden, gerekli kurgu verileri elde edilerek (Temas ve Hareket fonksiyonları), ilk olarak ürüne ait alt kurgular belirlenmiştir. Belirlenen alt kurguların kendi içinde ve genel ürün için kurgu

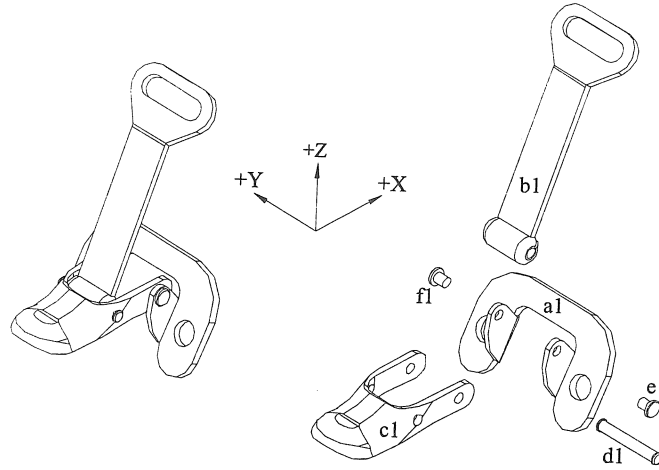
sıraları üretilmiştir. Kurgu sıraları üretildikten sonra gerek, alt kurgular ve gerekse de ürün için üretilen kurgu sıraları irtibat sıra grafiği ile kullanıcıya sunulmuştur.

ALT KURGULARIN BELİRLENMESİ

Alt kurgular, özellikle parça sayısı fazla olan ürünlerin gerek kurgularının yapılmasında, gerekse kurgu sıralarının oluşturulmasında oldukça kolaylık sağlamaktadır. Ancak, bir üründeki alt kurguların belirlenmesi, oldukça karmaşık ve zaman alıcı olan program sürecini de beraberinde getirmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, alt kurgular doğru olarak algılanabilmekte, gerek ana kurgudaki kurgu sırası, gerekse alt kurgunun parçaları arasındaki kurgu sırası belirlenebilmektedir. Alt kurguların belirlenmesi bilgisayar tarafından kullanıcı etkileşimi olmadan gerçekleştirilmektedir. Bunun için temas ve hareket fonksiyonlarından yararlanılmıştır.

Alt kurgunun belirlenmesi için ilk olarak endüstriyel ürünlerin birleştirilmiş halde katı model olarak tasarlanmaları gerekmektedir. Daha sonra, ürünün katı modelinden temas (T) ve hareket (H) fonksiyonları kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir [21]. T fonksiyonları endüstriyel ürüne ait her elemanın, ürünü oluşturan diğer elemanlarla temasta olup olmama durumlarına göre türetilen 0 ve 1 rakamlarından oluşan matris şeklindeki fonksiyonlardır. H fonksiyonları ise, endüstriyel ürüne ait her elemanın, ürünü oluşturan diğer elemanlar tarafından sökülmesinin engellenip engellenmeme durumuna göre türetilen 0 ve 1 rakamlarından oluşan matris şeklindeki fonksiyonlardır. T ve H fonksiyonları kartezyen koordinat sisteminin altı ana eksenine (+x, +y, +z, -x, -y ve -z) için oluşturulduğu için, her bir fonksiyon altı tane elemandan meydana gelmiştir. Şekil 2'de gösterilen kilit için üretilen temas ve hareket fonksiyonları Çizelge 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Kilitin birleştirilmiş ve sökülüş haldeki katı model tasarımı

Çizelge 2. Kilit için üretilen T ve H fonksiyonları

TEMAS FONKSİYONLARI							HAREKET FONKSİYONLARI						
Çift	+x	+y	+z	-x	-y	-z	Çift	+x	+y	+z	-x	-y	-z
albl	0	0	0	0	0	0	albl	1	1	0	0	1	1
alcl	0	1	0	0	1	0	alcl	1	0	1	0	0	1
aldl	0	0	0	0	0	0	aldl	1	1	1	0	1	1
alel	1	0	1	1	1	1	alel	0	1	0	0	0	0
alfl	1	1	1	1	0	1	alfl	0	0	0	0	1	0
blcl	0	1	1	1	1	0	blcl	1	0	0	0	0	1
bldl	1	0	1	1	0	1	bldl	0	1	0	0	1	0
blel	0	0	0	0	0	0	blel	1	1	1	1	1	1
bifl	0	0	0	0	0	0	bifl	1	1	1	1	1	1
cldl	1	1	1	1	1	1	cldl	0	1	0	0	1	0
clel	1	0	1	1	0	1	clel	0	1	0	0	0	0
clfl	1	0	1	1	0	1	clfl	0	0	0	0	1	0
dlel	0	0	0	0	0	0	dlel	0	1	1	1	1	1
dfl	0	0	0	0	0	0	dfl	0	1	1	1	1	1
efl	0	0	0	0	0	0	efl	1	0	1	1	1	1
blal	0	0	0	0	0	0	blal	0	1	1	1	1	0
clal	0	1	0	0	1	0	clal	0	0	1	1	0	1
dial	0	0	0	0	0	0	dial	0	1	1	1	1	1
elal	1	1	1	1	0	1	elal	0	0	0	0	1	0
flal	1	0	1	1	1	1	flal	0	1	0	0	0	0
clbl	1	1	0	0	1	1	clbl	0	0	1	1	0	0
dibl	1	0	1	1	0	1	dibl	0	1	0	0	1	0
elbl	0	0	0	0	0	0	elbl	1	1	1	1	1	1
flbl	0	0	0	0	0	0	flbl	1	1	1	1	1	1
dicl	1	1	1	1	1	1	dicl	0	1	0	0	1	0
elcl	1	0	1	1	0	1	elcl	0	0	0	0	1	0
flcl	1	0	1	1	0	1	flcl	0	1	0	0	0	0
eldl	0	0	0	0	0	0	eldl	1	1	1	0	1	1
fldl	0	0	0	0	0	0	fldl	1	1	1	0	1	1
flel	0	0	0	0	0	0	flel	1	1	1	1	0	1

Temas ve hareket fonksiyonları endüstriyel ürünlerin kurgu sıralarının üretilmesinde kullanıldığı gibi [18], alt kurguların belirlenmesinde de kullanılabilir-mektedir. Hazırlanan programda, endüstriyel ürünlerin alt montajlarının teşhisi için uygulanan işlem sırası aşağıda verilmiştir.

1. Ana kurgudaki geçmelerin belirlenmesi
2. Parçaların gruplandırılması
3. Gruplandırılan parçalardan alt kurguya uygun olmayanların çıkarılması
4. Alt kurguların belirlenmesi

Ana Kurgudaki Geçmelerin Belirlenmesi

Ana kurgudaki geçmelerin program tarafından algılanabilmesi için, daha önce türetilen temas ve hareket fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Bir çiftin geçme yapabilmesi için, en az üç eksende çiftin elemanlarının birbiri ile temasta olması ve yine en az

üç eksende sökülmesinin mümkün olması gerekmektedir. Bu mantıkla program tarafından, kartezyen koordinat sisteminin altı ana ekseninden (+x, +y, +z, -x, -y ve -z) en az üç ekseninde teması olan ve en az üç ekseninde de sökülme serbestliği olan çiftler belirlenerek, bu çiftlerin geçme yaptığı belirlenmektedir. Geçme yapan çiftler belirlendikten sonra ikinci aşama olarak, aynı parçanın geçme yaptığı çiftlerden birer grup oluşturulmaktadır.

Şekil 2'de gösterilen kilit için, kilidi oluşturan parçaların yapmış olduğu geçmeler Çizelge 3'de verilmiştir. Burada, geçme yapan çiftler ve bu çiftlerin sökülme yönlerine karşılık gelen rakamlar, ayrıca geçme yapan çiftlerden yararlanılarak, her bir parçanın geçme halinde olduğu parçalar yazdırılmıştır. Çizelge 2'ye göre (al, el) çifti (+y) yönünde bir sökülme serbestliği vardır. Buna göre (al, el) çifti geçme yapmış bir çifttir. al parçası el ve fl parçalarıyla geçme yaptığı için (al, el, fl) grubu oluşturulmuştur (Çizelge 3).

Çizelge 3. Kilit kurgusunda geçme yapan çiftler, sökülme yönleri ve oluşan gruplar

S.No	Geçme Yapan Çiftler	Sökülme Yönleri	S.No	Gruplar
1	<i>a1, e1</i>	2	1	<i>a1, e1, f1</i>
2	<i>a1, f1</i>	5	2	<i>b1, c1, d1</i>
3	<i>b1, c1</i>	1 - 6	3	<i>c1, b1, d1, e1, f1</i>
4	<i>b1, d1</i>	2 - 5	4	<i>d1, b1, c1</i>
5	<i>c1, d1</i>	2 - 5	5	<i>e1, a1, c1</i>
6	<i>c1, e1</i>	2	6	<i>f1, a1, c1</i>
7	<i>c1, f1</i>	5		

Parçaların Gruplandırılması

Bu aşamada Çizelge 3'de oluşturulan gruplar yeniden gözden geçirilmiş, alt kurgu oluşturamayacak parçalar çıkarılarak, alt kurguda bulunması gereken parçalar mevcut gruplara eklenmiştir. Yeni grupların oluşturulması, 2 adımda gerçekleştirilmiştir.

1. adım: Çizelge 4'deki her grup ve grubu oluşturan her eleman tek tek kontrol edilmiştir. Örneğin, (*b1, c1, d1*) grubunun, grup başı (*b1*) haricindeki diğer parçaların (*c1, d1*) grup başı olduğu satırlar (*c1 - {c1, b1, d1, e1, f1}*, *d1 - {d1, b1, c1}*) bu gruba eklenmiştir (*b1, c1, d1, e1, f1*). Çünkü, bu grubun bir alt kurgu olması için, sadece bir parçanın geçme yaptığı parça değil, grubu oluşturan tüm parçaların geçme yaptığı parçaların değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu adımdaki ikinci işlem ise, ana parçanın elemanı olduğu bir grup, alt kurgu oluşturamayacağı için, ana parçanın grup başı olduğu satır (*a1, e1, f1*) ile her gruptaki ana parça silinmiştir.

2. adım: Bu adımda, bir önceki adımda elde edilen gruplar tek tek kontrol edilmiştir. Bu kontrol neticesinde, grup başı parça aynı olmak şartıyla bir başka grup tarafından kapsanan (alt grup olan) gruplar silinmiştir. Çünkü, alt gruplar, ana gruplar içerisinde ileri aşamalarda ayrıca kontrol edilecek şekilde program hazırlanmıştır.

Yukarıda bahsedilen iki adım kilite uygulandığında, birinci adımda, kilidin ana parçası *a1* olduğu için Çizelge 3'deki (*a1, e1, f1*) satırı ve diğer satırlardaki *a1* parçası silinmiştir. Daha sonra, her

gruptaki tüm elemanların grup başı olduğu satırlar bu gruba eklenmek suretiyle Çizelge 4'de yeni gruplar elde edilmiştir. İkinci adımda ise, oluşturulan bu gruplar incelenerek, grup başı aynı olmak şartıyla, başka bir grup tarafından kapsanan gruplar silinerek yeni gruplar oluşturulmaktadır.

Gruplandırılan Parçalardan Alt Kurguya Uygun Olmayanların Çıkarılması

Bu aşamaya kadar parçalar gruplandırılmıştır, fakat, bu gruplar veya gruplardaki parçaların bir veya daha fazlasının, alt kurguya uygun olup olmadığına karar verilmemiştir. Bu aşamada, alt kurguya uygun olmayan gruplar ve gruplardaki alt kurguya uygun olmayan parça veya parçalar gruptan çıkarılmıştır. Bu işlem, kurgu sırasını belirlemede karşılaşılan karmaşık ve zaman alıcı bir süreç olmuştur. Çizelge 4'de belirtilen her grubun, alt kurgu oluşturup oluşturamayacağı ve böylece gruptaki alt kurguya uygun olmayan parçaların çıkarılması gerçekleştirilmiştir.

Bir önceki aşamada elde edilen ve Çizelge 4'de belirtilen grubun, kendi elemanları arasında, grup başı parça aynı olmak şartıyla birbirleriyle eşleştirilmiştir. Bu eşleşme, grup başı parçanın, grubun diğer parçalarıyla, ikili, üçlü, dördü ve grubun toplam eleman sayısına ulaşıncaya kadar yapılmaktadır. Örneğin, Çizelge 4'deki her iki grubun eşleşmesi Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. Kilit kurgusunda alt kurgu oluşturabilecek gruplar

S.No	Gruplar	Alt kurgu oluşturamayan grupların elenmiş hali
1	<i>b1, c1, d1</i>	
2	<i>b1, c1, d1, e1, f1</i>	<i>b1, c1, d1, e1, f1</i>
3	<i>c1, e1</i>	
4	<i>c1, e1, f1</i>	<i>c1, e1, f1</i>
5	<i>c1, f1</i>	

Çizelge 5. (*b1, c1, d1, e1, f1*) ve (*c1, e1, fl*) grup elemanlarının kendi aralarında eşleşmeleri

S.No	Eşleşmeler	
	<i>b1, c1, d1, e1, fl</i>	<i>c1, e1, fl</i>
1	<i>b1, c1</i>	<i>c1, e1</i>
2	<i>b1, d1</i>	<i>c1, fl</i>
3	<i>b1, e1</i>	<i>c1, e1, fl</i>
4	<i>b1, fl</i>	
5	<i>b1, c1, d1</i>	
6	<i>b1, c1, e1</i>	
7	<i>b1, c1, fl</i>	
8	<i>b1, d1, e1</i>	
9	<i>b1, d1, fl</i>	
10	<i>b1, e1, fl</i>	
11	<i>b1, c1, d1, e1</i>	
12	<i>b1, c1, d1, fl</i>	
13	<i>b1, c1, e1, fl</i>	
14	<i>b1, d1, e1, fl</i>	
15	<i>b1, c1, d1, e1, fl</i>	

Alt Kurguların Belirlenmesi

Bu aşamaya kadar parçalar, geçme durumlarına göre gruplandırılmış ve bu gruplardan, alt kurgu oluşturabilecek yeni gruplar elde edilmiştir. Bu aşamada ise, elde edilen gruplar arasından alt kurgu oluşturamayacakların çıkarılması, başka bir grup tarafından kapsanan grupların silinmesi ve elde edilecek olan alt kurguların da, bir alt kurguyu ihtiva edip etmediğinin kontrolü yapılmıştır.

İlk olarak, elde edilen yeni grupların, kurgulu haldeki ürün modelinden sökülüp sökülemeyeceği kontrol edilmiştir. Alt kurgu belirleme işlemi, hareket fonksiyonu üzerinde yapılacak işlemler neticesinde, program tarafından elde edilmektedir. Örneğin (*b1, c1*) grubu; bu grubun elemanları, hareket fonksiyonundaki kurguyu oluşturan diğer elemanlar tarafından (bu gruptaki diğer elemanlar hariç) sökülme yönleri tespit edilmiştir. Bu durumda *b1* ve *c1* parçası kuruyu oluşturan diğer parçalar (*a1, d1, e1, fl*) ile sökülme yönlerinin aynı olup olmadığı kontrol edilmiştir. Sökülme yönleri aynı ise bu grup alt kurgu oluşturabilmekte, sökülme yönleri aynı değilse alt kurgu oluşturamamaktadır. Bu durumda alt kurgu oluşturabilecek gruplar belirlenmiştir. Kilit için alt kurgu oluşturabilecek iki tane alt kurgu belirlenmiştir (*b1, c1*) ve (*b1, c1, d1*). Bu iki alt kurgu incelendiğinde, her iki grubun ana parçası aynı ve (*b1, c1*) grubunun (*b1, c1, d1*) grubu tarafından kapsandığı görülmektedir. Bu durumda, (*b1, c1*) grubu silinmektedir.

Bu aşamadan itibaren, alt kurgu oluşturamayacak olan grupların silinme işlemi yapılmıştır. Bunun için, ilk olarak parçalar arasında temas şartı aranmıştır. Alt kurgu oluşturacak olan

grubun içinde, birbirleriyle temasta olmayan parça varsa, bu gruplar silinmiştir. Daha sonra grup başı parça aynı, fakat, diğer parçaları farklı olan gruplar varsa (bir parça iki farklı alt kurguda olamayacağı için), bu sefer de bu alt kurguların ilki kalmış, diğerleri program tarafından otomatik olarak silinmiştir.

Alt kurguların belirlenmesi işleminin son aşaması olarak, iç içe alt kurgu olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bunun için, belirlenen alt kurgular bir kez daha değerlendirilmiştir. Elde edilen alt kurgular içinde, grup başı olan parça, başka bir alt kurgunun elemanı ise, bu alt kurguların, elemanı olduğu grubun bir alt kurgusu olarak algılanması sağlanmıştır. Belirlenen alt kurgular yukarıdan aşağıya doğru sıralı olarak kodlanmıştır. Bu kodlama işlemi İngiliz alfabesinin büyük harfleri (A1, B1, C1, D1, E1,, Z1) kullanılarak yapılmıştır. Buna göre, (*b1, c1, d1*) grubu A1 alt kurguya olarak kabul edilmiştir. Kilidin kurgusunda (*a1, b1, c1, d1, e1, fl*), (*b1, c1, d1*) alt kurgusuna A1 olarak adlandırılmış ve ana kurgu (A1, a1, e1, fl) şeklinde oluşturulmuştur.

ALT KURGU SIRALARININ ÜRETİLMESİ

Varılan noktaya kadar muhtemel alt kurgular, yukarıda anlatılan işlemler neticesinde belirlenmiştir. Bundan sonra, belirlenen alt kurguların parçaları arasındaki kurgu sıralarının üretilmesi ve her alt kurgunun ürün kurgusunda hangi sırada birleştirileceğinin belirlenmesi için, ürüne ait kurgu sıralarının belirlenmesi de gerekmektedir. Kilit için (A1, a1, e1, fl) ana kurgusu ve (*b1, c1, d1*) alt kurgusu için kurgu sıraları üretilmiştir.

Kurgu sıralarının belirlenmesi, muhtemel kurgu sıralarının belirlenmesi işlemine oldukça benzer olmakla beraber, alt kurguların olması sebebiyle biraz daha karmaşık bir yapıyı göstermektedir. Burada da yine temas ve hareket fonksiyonlarından yararlanılmıştır. Ancak, ürünlerin yeniden kodlanmasında alt kurguların olması ve daha önce oluşturulan temas ve hareket fonksiyonları çizelgesinde, alt kurguların belirtilmemesi sebebiyle, ana kurgu ve alt kurgu için ayrı ayrı temas ve hareket fonksiyonlarının oluşturulmuştur.

Ürünün alt kurguları içerecek şekilde temas ve hareket fonksiyonlarının oluşturulması, ürün için daha önceden belirlenen temas ve hareket fonksiyonlarında aşağıda açıklanan bir takım işlemler gerçekleştirilerek yapılmıştır. Kilidin (*a1, e1, fl, A1*) ana kurgusu ve Kilidin (*b1, c1, d1*) alt kurgusu için yeniden oluşturulan T ve H fonksiyonları Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Kilitin ($a1, e1, f1, A1$) ve ($b1, c1, d1$) alt kurguları için T ve H fonksiyonları

$(a1, e1, f1, A1)$ ana kurgusu				$(b1, c1, d1)$ alt kurgusu			
T FONKSİYONLARI		H FONKSİYONLARI		T FONKSİYONLARI		H FONKSİYONLARI	
a1e1	101111	a1e1	010000	b1c1	011110	b1c1	100001
a1f1	111101	a1f1	000010	b1d1	101101	b1d1	010010
a1A1	010010	a1A1	100001	c1d1	111111	c1d1	010010
e1f1	000000	e1f1	101111	c1b1	110011	c1b1	001100
e1A1	101101	e1A1	000010	d1b1	101101	d1b1	010010
f1A1	101101	f1A1	010000	d1c1	111111	d1c1	010010
e1a1	111101	e1a1	000010				
f1a1	101111	f1a1	010000				
A1a1	010010	A1a1	001100				
f1e1	000000	f1e1	111101				
A1e1	101101	A1e1	010000				
A1f1	101101	A1f1	000010				

Burada ilk olarak ürünü oluşturan parçalar eşleştirilmiş, alt kurguların elemanı olan parçalar ($b1, c1, d1$) silinmiş ve bu parçalar yerine alt kurgunun kodu yazdırılmıştır ($a1, e1, f1, A1$). Bu eşleşme neticesinde alt kurgunun bulunmadığı çiftler olduğu gibi alınmıştır. Alt kurgunun bulunduğu çiftler ise, örneğin ($a1, A1$) çifti, $A1$ alt kurgusunu oluşturan tüm elemanların ($b1, c1, d1$) her biri tek tek $a1$ parçasıyla oluşturduğu çiftler halinde alt alta yazdırılmıştır. Daha sonra, bu çiftlerin sütunlarına temas fonksiyonu için "V (veya)", hareket fonksiyonu için "Λ (ve)" operatörü uygulanarak yeni bir fonksiyon hazırlanmıştır. Aşağıda, ($a1, A1$) çiftinin temas ve hareket fonksiyonunun nasıl elde edildiği gösterilmiştir. Hazırlanan bu çift, temas ve hareket fonksiyonlarında ilgili sütunlara yazdırılmıştır.

T FONKSİYONU		H FONKSİYONU	
a1, b1-	000000	a1, b1-	110011
a1, c1-	010010	a1, c1-	101001
a1, d1-	000000	a1, d1-	111011
a1, A1-	010010	a1, A1-	100001

Her alt kurgu için temas ve hareket fonksiyonu oluşturulduktan sonra kurgu sırası üretme işlemi, muhtemel bütün kurgu sıralarının üretilmesi işlemi ile aynı alınmıştır. Tek fark, hangi grubun kurgu sırası üretilecekse, o grup için oluşturulan temas ve hareket fonksiyonlarının kullanılmasının gerekli olmasıdır.

Son olarak, oluşturulan kurgu sıraları uzantısı "sir" olan dosyalara yazdırılmış ve elde edilen nihai kurgu sıraları da "altmon.sir" dosyası halinde kaydedilerek kullanıcıya sunulmuştur. Kilit için alt kurguya dayalı olarak oluşturulan kurgu sıraları Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Kilit için alt kurguya dayalı olarak üretilen muhtemel bütün kurgu sıraları

$(a1, e1, f1, A1)$ Alt kurgusu		$(b1, c1, d1)$ Alt kurgusu	
S.No	Kurgu sırası	S.No	Kurgu sırası
1	$a1, A1, e1, f1$	1	$b1, c1, d1$
2	$a1, A1, f1, e1$	2	$c1, b1, d1$
3	$A1, a1, e1, f1$		
4	$A1, a1, f1, e1$		

KURGU SIRALARININ İRTİBAT SIRA GRAFİĞİNDE GÖSTERİMİ

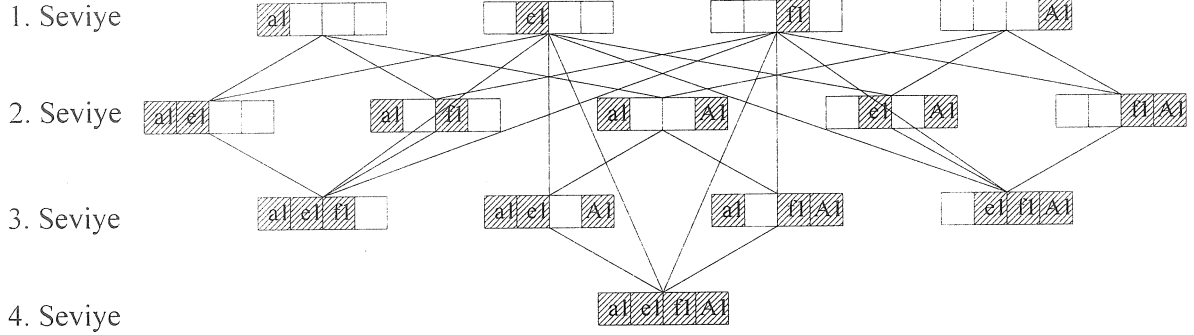
Kurgu sıralarının grafik olarak gösterilmesi, en az kurgu sıralarının üretilmesi ve alt kurguların belirlenmesi kadar karmaşık ve zaman alıcı bir işlem olmasına rağmen, üretilen kurgu sıralarının net bir şekilde kullanıcıya sunulması ihtiyacı ortadadır. Bu çalışmada, gösterim metodu olarak, irtibat sıra grafiği seçilmiştir. Çünkü bu metotta, kurgu operasyonları, aşama aşama hangi parçanın veya alt kurgunun kurgu edildiği net bir şekilde gösterilmektedir.

İrtibat sıra grafiği düğüm (kutu) ve hatlardan oluşmaktadır. Hatlar, açık hat ve kapalı hat olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bir düğüme gelen ve düğümden çıkmayan hatlar kapalı hat, bir düğüme gelip düğümden çıkan hatlar ise açık hat olarak belirlenmiştir. Bunun yanında irtibat sıra grafiği, parça sayısı kadar seviyeden oluşmaktadır. Birinci seviye parçaların henüz kurguya başlanmamış yani bağımsız halini ifade etmekte, dolayısıyla parça sayısı kadar düğümden oluşmaktadır. Son seviye ise, kurgunun bitmiş halini göstermekte ve sadece bir düğümden oluşmaktadır. Birinci seviyeye giren bir hat olmamakta, sadece düğümlerden çıkan hatlar olmaktadır. Buna karşın son seviye de ise, düğüme giren hatlar olmakta son seviye olduğu için bu düğümden çıkan hat olmamaktadır [1]. Kilitin ($a1, e1, f1, A1$) ana kurgusu için çizdirilen irtibat sıra grafiği Şekil 3'de gösterilmiştir.

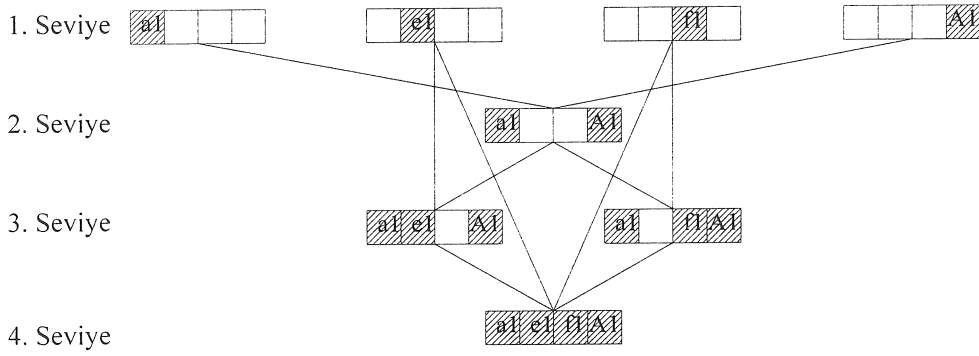
Şekil 3'e bakıldığında bazı düğümlere gelen kurgu hatlarının düğümden çıkmadığı görülmektedir. Bir düğümden ayrılan kurgu hattı yoksa, bu düğümün silinmesini ve dolayısıyla bu düğüme gelen kurgu hatlarının da grafikten çıkarılmasını sağlayacak mantık programa yerleştirilmiştir. Bu mantık tüm

grafiğe çıkan hattı olmayan düğüm kalmayınca kadar uygulanarak budanmış irtibat sıra grafiği elde edilmiştir (Şekil 4).

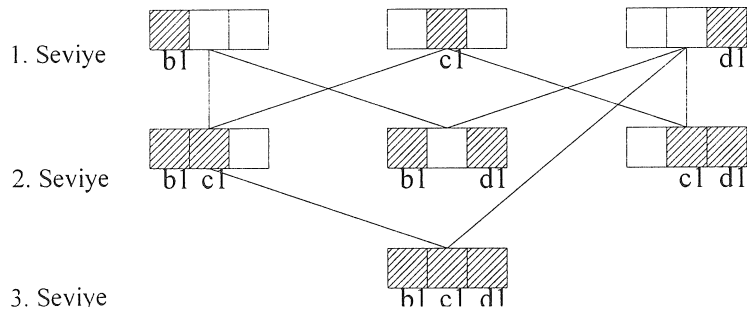
Kilidin ($b1, c1, d1$) alt kurgusu için çizdirilen budanmamış irtibat sıra grafiği Şekil 5'de, budanmış irtibat sıra grafiği de Şekil 6'da gösterilmiştir.



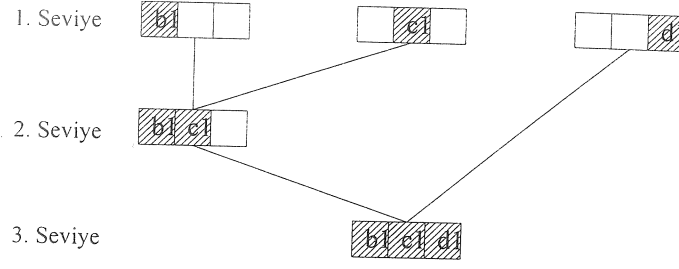
Şekil 3. Kilidin ($a1, e1, f1, A1$) ana kurgusu için budanmamış irtibat sıra grafiği



Şekil 4. Kilidin ($a1, e1, f1, A1$) ana kurgusu için budanmış irtibat sıra grafiği



Şekil 5. Kilidin ($b1, c1, d1$) ana kurgusu için budanmamış irtibat sıra grafiği



Şekil 6. Kilitin ($b1$, $c1$, $d1$) ana kurgusu için budanmış irtibat sıra grafiği

ÖRNEK ÇALIŞMALAR

Hazırlanan program ile aks, kızak, döner teker, saatçi mengenesi, iletme tertibatı, dişli kutusu vb. bir çok uygulama yapılmış [1] ve bu çalışmada ise mafsalsal ile vana örneği verilmiştir.

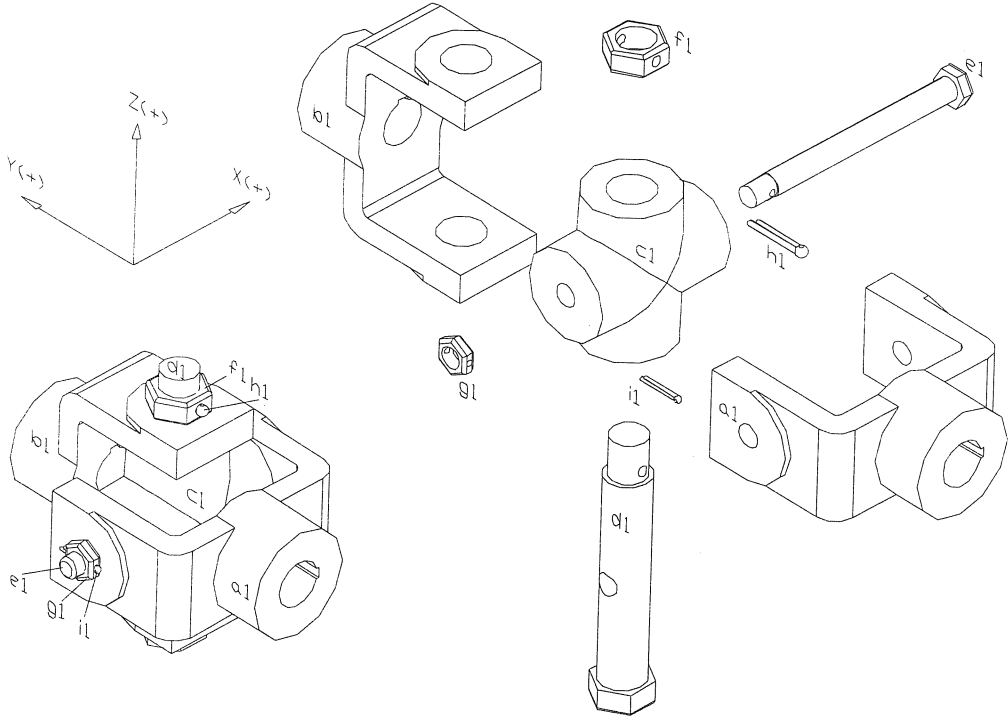
1. Mafsalsal

Program, Şekil 7'de gösterilen mafsalsal için çalıştırılmış ve ($b1$, $c1$, $d1$, $f1$, $h1$) alt kurgusu

belirlenmiştir. Daha sonra, ($A1$, $a1$, $e1$, $g1$, $i1$) ana montajı ve ($b1$, $c1$, $d1$, $f1$, $h1$) alt kurgusu için kurgu sıraları üretilmiştir (Çizelge 8).

2. Vana

Program, Şekil 8'de gösterilen vana için çalıştırılmış ve belirlenen alt kurgular ile her alt kurgu için üretilen kurgular veya kurgu sıra sayıları Çizelge 9'da verilmiştir.



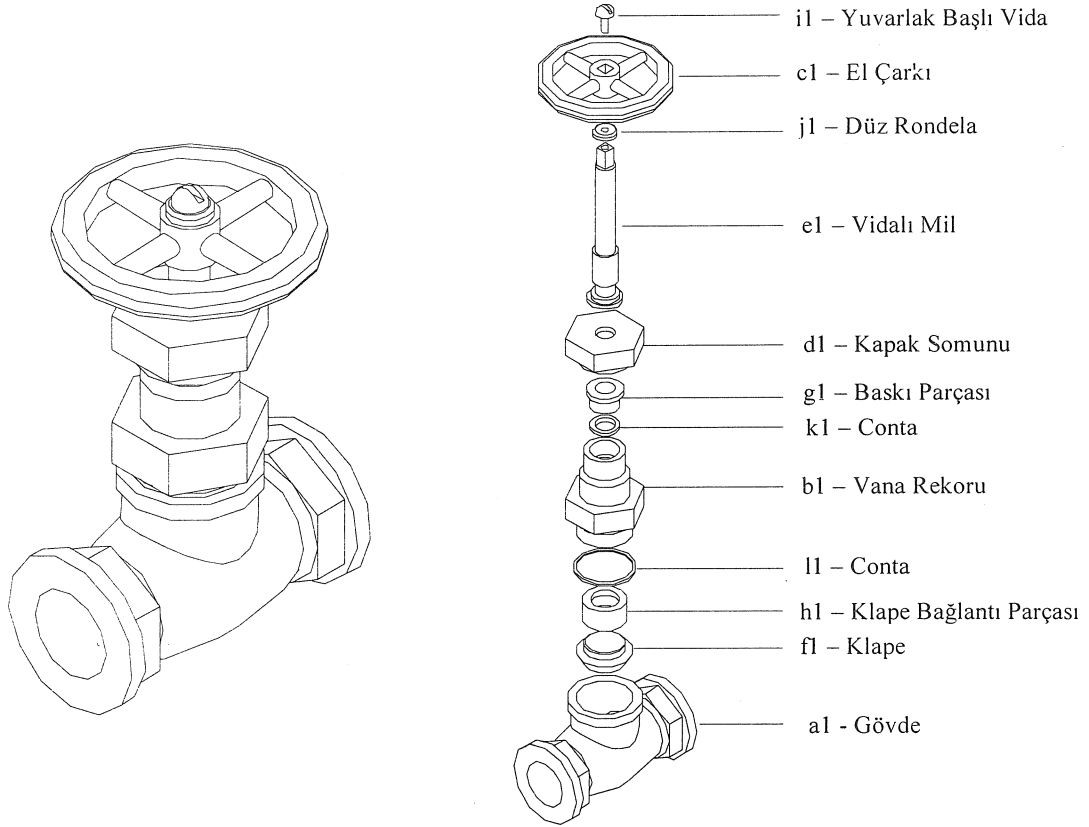
Şekil 7. Mafsalsalın birleştirilmiş ve sökülmüş modeli

Çizelge 8. Mafsalın (A1, a1, e1, g1, i1) ana kurgusu ve (b1, c1, d1, f1, h1) alt kurgusu için üretilen kurgu sıraları

S.No	(A1, a1, e1, g1, i1) ana montajı	S.No	(b1, c1, d1, f1, h1) alt montajı
	Montaj Sırası		Montaj Sırası
1	a1, g1, A1, e1, i1	1	b1, c1, d1, f1, h1
2	a1, A1, e1, g1, i1	2	b1, c1, f1, d1, h1
3	a1, A1, g1, e1, i1	3	b1, f1, c1, d1, h1
4	g1, a1, A1, e1, i1	4	c1, b1, d1, f1, h1
5	A1, a1, e1, g1, i1	5	c1, b1, f1, d1, h1
6	A1, a1, g1, e1, i1	6	f1, b1, c1, d1, h1

Çizelge 9. Vananın alt kurguya dayalı olarak üretilen kurgular veya kurgu sıra sayıları sıraları

(A1, a1) Ana kurgusu		(b1, d1, g1, k1, l1, B1, C1) Alt kurgusu		(c1, D1) Alt kurgusu		(e1, f1, h1) Alt kurgusu		(i1, j1) Alt kurgusu	
S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.	S.No	Kurgu S.
1	a1, A1		78 tane kurgu sırası üretilmiştir.	1	c1, D1	1	e1, f1, h1	1	i1, j1
2	A1, a1			2	D1, c1	2	e1, h1, f1	2	J1, i1
						3	f1, e1, h1		
						4	h1, e1, f1		



Şekil 8. Vananın birleştirilmiş ve sökülmüş modeli

Gerçekleştirilen çalışmada, CAD ortamında birleştirilmiş halde katı model olarak tasarlanan her türlü endüstriyel ürünün alt kurguları belirlenebilmekte, alt kurguların ve alt kurguları içeren ve genel ürünün kurgu sıraları üretilebilmekte ve üretilen kurgu sıraları ayrı ayrı irtibat sıra grafiğinde gösterilmektedir. Bu alanda yapılan çalışmalardan farklı olarak işlemler kullanıcı etkileşimi olmaksızın gerçekleştirilmiştir.

Kurgu sırasını üretmede, ana hedefin tam otomatikleşme olduğu tespit edilmiştir. Ancak, tam otomatikleşme için yapılan çalışmaların, kurgu sıralarının üretilme sürelerinin çok fazla olması sebebiyle çalışmalarda, bu sürenin de azaltılması hedefine yönelik araştırmalara öncelik verildiği belirlenmiştir.

Gerçekleştirilen çalışma ile literatürde yapılan, irtibat ilişkilerinin elde edilmesi, kurgu sıralarının üretilmesi ve üretilen sıraların kullanıcıya sunulması açısından benzer çalışmalar ile mukayese yapılmıştır.

Kurgu sıralarının üretilmesinin temeli olan ürünün parçaları arasındaki irtibat ilişkileri, "en çok grafik [4, 7, 12, 15, 17] ve matris [3, 12, 13, 16, 18, 21] tabanlı olmak üzere iki şekilde elde edilmektedir. Grafik tabanlı yöntemler, kullanıcı etkileşimli olarak üretildiği gibi, matris tabanlı yöntemler kullanıcı etkileşimli veya etkileşimsiz olarak" üretilebilmektedir. Önce ürünün matris modeli oluşturulup bu modelden, irtibat ilişkileri grafik olarak kullanıcıya sunulabilmektedir. Ancak, irtibat ilişkilerinin kullanıcı etkileşimi olmadan üretilebilmesi için ürünün katı model temsili gerekmektedir.

Matris tabanlı yöntem kullanan araştırmacılar Ong - Wong [10] keşişme ve bağlantı, Dini -Santochi [12] ise keşişme, temas ve bağlantı matrislerini elde etmişlerdir. Ancak, her iki araştırmada kullanılan matrisler kullanıcı etkileşimli olarak elde edilmektedir. Aynı zamanda, bağlantı matrisleri vida, vb. bağlantıların kullanıcı tarafından belirlenmesinin gerektirmektedir. Yine bu araştırmacıların kullandığı matrisler kartezyen koordinat sisteminin her eksenini için ayrı ayrı hazırlanmaktadır. Gottipolu ve Ghosh [13] ise temas ve hareket matrislerini, PADL - 2 katı modelleme paketini kullanarak elde etmiştir.

Çalışmada, kullanıcı etkileşiminden uzak hazırlanmaya çalışıldığı için, Gottipolu ve Ghosh'un kullanmış olduğu temas ve hareket matrisleri tercih edilmiştir.

Kurgu sıralarının üretilmesinde, ürünün irtibat ilişkileri kullanılmaktadır. Gottipolu ve Ghosh [13], temas ve hareket matrislerini kullanarak aynı anda ürünün kurgu ve alt kurgu sıralarını üretmektedir. Kurgu sıraları için muhtemel bütün olasılıkların kontrol edildiği çalışmada, sadece kurgu sıralarının üretilme sürelerinin fazla olması, birde buna alt

kurguların üretimi için harcanan sürenin eklenmesiyle, kurgu sıralarının üretilme süresi oldukça uzun sürmektedir. Bu yüzden parça sayısı az olan ürünler için tercih edilen bir yöntem olmuştur.

Ong ve Wong [10], kurgu sıralarını üretilme sürelerinin azaltılması amacıyla, ürünün alt kurgusunu belirleyen ve sadece alt kurguya dayalı olarak montaj sıralarını üreten bir çalışma yapmıştır. Ancak, ürünün ana parçasıyla bağlantılı olan alt kurguları algılayamaması bu çalışmanın önemli bir olumsuz yönüdür.

Gerçekleştirilen çalışmada ise, muhtemel bütün veya alt kurguya dayalı olarak kurgu sıralarının üretilmesi isteğe bağlı bırakılarak daha farklı bir yaklaşım ortaya konmuştur.

Ürünlerin üretilen kurgu sıraları kullanıcıya, bir çok grafik yöntemle sunulmaktadır [1]. Ancak bu yöntemler içerisinde, hiyerarşik bir yapıya sahip olan ve/veya grafiği [17] ve irtibat sıralama grafiği (montaj sıra grafiği) grafiği [4, 13, 18] araştırmacılar tarafından en fazla tercih edilen yöntemler olmuştur. Bu iki yöntem, hiyerarşik olarak birbirinin tersi şeklinde hazırlanmaktadır. Ve/veya grafiği, ürünün kurgusundan sökülmesini gerçekleştirecek şekilde; irtibat sıralama grafiği ise, bağımsız parçalardan ürünün kurgusunu yapacak şekilde hazırlanmaktadır. Yani, ve/veya grafiği ürünün sökölme sırasını, irtibat sıralama grafiği de kurgu sırasını göstermektedir. Bu sebeple gerçekleştirilen çalışma da irtibat sıralama grafiği tercih edilmiştir.

Gerçekleştirilen çalışmada, montaj sıralarının üretilmesi alanındaki eksiklikler analiz edilerek, bu problemler üzerinde durulmuştur. Tespit edilen eksiklikler ve getirilen çözüm ve yenilikler aşağıda verilmiştir.

1. Ürünün montaj modelinin grafik tabanlı olarak oluşturulmasının bir sonucu olarak, bu yöntemlerin kullanıcı etkileşimli olarak üretildiği tespit edilmiştir. Bunun yanında, matrise dayalı yöntemlerin ise, otomatik üretilme zorluğundan dolayı yine kullanıcı etkileşimli olarak oluşturulduğu belirlenmiştir. Çalışmada, ürünün parçaları arasındaki irtibatların belirlenmesinde, matris modeli kullanılmıştır. Ürünün montajlı haldeki katı modelinden parçalar arasındaki ilişki bilgilerinin otomatik olarak elde edilmesiyle, temas ve hareket fonksiyonları tamamen kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.
2. Montaj sıraları, temas ve hareket fonksiyonları kullanılarak, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.
3. Yapılan çalışmalarda parça sayısının sınırlı olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilen çalışma, en fazla 38 parçalı bir ürün için denenmiş ve başarılı sonuç elde

- edilmiştir. Ancak, program 250 parçalı ürünün kurgu sırasını üretecek şekilde tasarlanmıştır.
4. Montaj sıralarının üretilmesi sırasında, alt montajlar gerektiğinde dahil edilmeyerek montaj sıraları üretilebildiği gibi, alt montajlar kullanılarak da montaj sıraları üretilmiştir.
 5. Literatürde, üretilen montaj sıralarının kullanıcıya sunulması için, bir çok grafik yöntemin kullanıldığı [1], bunların içerisinde en çok kullanılanları ve/veya grafikleri ile irtibat sıralama grafiği olarak tespit edilmiştir. Bu iki temsil yöntemi birbirinin tersi şeklindedir. Ve/veya grafiğinin en üst seviyesi, montajın bitmiş en alt seviyede montajın henüz başlanmamış şeklini, irtibat sıralama grafiğinin en üst seviyesi, montajın henüz başlanmamış en alt seviyede montajın bitmiş halini ifade etmektedir. Çalışmada, irtibat sıralama grafiği kullanılarak, montaj sıralarının iki boyutlu bir ortamda kullanıcıya net bir şekilde sunulması sağlanmıştır. Ayrıca grafiğin, montaj sırası oluşturamayan kolları yine kullanıcı etkileşimine ihtiyaç duyulmaksızın silinerek, daha sade bir gösterimi de sağlanmıştır.
 6. Alt montaja dayalı olarak üretilen montaj sıralarında da, hem ana montaj hem de her alt

7. irtibat sıralama grafiği, gereksiz kolların budanmış ve budanmamış durumları da olmak üzere üretilebilmiştir.
7. İrtibat sıralama grafiği, kullanıcı etkileşimi olmadan üretilmiştir.
8. Çalışma, AutoCAD 2000 paket programında hazırlanmış ve montaj sıralarının üretilmesi için yine, ilgili programın çizim editörü kullanılmaktadır. Ancak, montaj sırası üretilecek ürün, AutoCAD 2000'in desteklediği veri yapıları (SAT, DWG, DXF) olmak şartıyla herhangi bir BDT / BDİ paket programında da tasarlanabilmektedir.

Gerçekleştirilen çalışma, otomatikleşme konusunda atılmış önemli bir adım olarak görülmektedir. Gerek kurgunun temsilinin yapılması (temas ve hareket fonksiyonlarının üretilmesi), gerekse muhtemel bütün kurgu sıralarının üretilmesi aşaması tamamen kullanıcı etkileşiminden ve tecrübelerinden uzak tutulmuştur.

Kilit, mafsal ve vanaın muhtemel bütün ve alt kurguya dayalı olarak kurgu sıraları Pentium III 600 işlemcili 128 MB RAM hafızalı bir bilgisayarda üretilmiş ve üretilme süreleri ile kurgu sıra sayıları Çizelge 10'da verilmiştir.

Çizelge 10. Kilit, mafsal ve vana için kurgu sıra sayısı ve üretilme süreleri

Parça Adı	Muhtemel Bütün Kurgu Sıraları		Alt Kurguya dayalı muhtemel bütün kurgu sıraları					
	Kurgu sıra sayısı (tane)	Üretilme süresi	Kurgu sıra sayısı (tane)					
Kilit	16	2 s.	<i>al, el, fl, Al</i>	<i>bl, cl, dl</i>				1 s.
			4	2				
Mafsal	340	195 s.	<i>Al, al, el, gl, il</i>	<i>bl, cl, dl, fl, hl</i>				1 s.
			6	6				
Vana	676	2 saat 36 dk. 41 s.	<i>Al, al</i>	<i>bl, dl, gl, kl, ll, Bl, Cl</i>	<i>cl, Dl</i>	<i>el, fl, hl</i>	<i>il, jl</i>	9 s.
			2	78	2	4	2	

COMPUTER AIDED DETECTION OF SUBASSEMBLY, GENERATION OF SUBASSEMBLY SEQUENCES AND GRAPHIC REPRESENTATION

Assembly design of products is one of the most important subjects for the CAD/CAM systems. In the first step of this study, the identification of the subassemblies of a product is performed. Thus, the time spent for the generation of the assembly sequences is significantly decreased. The solid model of an assembled product is the input for the program and the subassemblies are detected without user

interaction and the possible assembly sequences of the subassemblies are generated. Finally, the assembly sequences of all subassemblies are represented to the designer in the form of a liaison sequence graph. During the study, AutoCAD 2000 software package and the Visual LISP, Turbo PASCAL and Visual BASIC computer languages are inter connectively used.

Keywords: Computer aided assembly, sub-assembly detection, generation of assembly sequence, liaison sequence graph.

KAYNAKÇA

1. Dilipak, H., "Bilgisayar Destekli Montaj Aşamalarının Teşhisi ve Montaj Sınırlamalarına Dayalı Optimizasyonu", Doktora Tezi, G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (2001).
2. Mosemann, H., Roehrdanz, F., Wahl, F., "Assembly Stability as a Constraint for Assembly Sequence Planning", *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1, 233-238, (1998).
3. Gungor, A., Gupta, S., M., "Disassembly Sequence Planning for Products with Defective Parts in Product Recovery", *Computers Ind. Engng*, 35 (1998) 1 - 2, 161 - 164.
4. Yan - Xue, G.P., "Assembly / Disassembly Sequence Planning For Life-Cycle Cost Estimation", *Manufacturing Science And Engineering American Society of Mechanical Engineers. Manufacturing Engineering Division, MED*, 2 (1995) 2, 935 - 956.
5. Ye, N., Urzi, D., A., "Heuristic Rules and Strategies of Assembly Planning: Experiment and Implications in the Design of Assembly Decision Support System", *Int. J. Prod. Res.*, 34 (1996) 8, 3447 - 3465.
6. Sanderson, A.C., De-Mello Luiz, S.H., Zhang, H., "Assembly Sequence Planning", *AI Magazine*, 11 (1990) 1, 62 - 81.
7. Subramani, A., K. and Dewhurst, P., "Automatic Generation of Product Disassembly Sequences", *Annals of the CIRP*, 40 (1991) 1, 115 - 118.
8. Elmaragy, H. A. ve Knell, L., "Design and automatic assembly sequence generation of a DC. Motor", *Center Flexible Manufacturing Reserch and Development Master University*, (1991), 672 - 683.
9. Zhao, J., Masood, S., "An Intelligent Computer - Aided Assembly Process Planning System", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15 (1999), 332-337.
10. Ong, N., S., and Wong, Y., C., "Automatic Subassembly Detection from a Product Model for Disassembly Sequence Generation", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15 (1999) 425-431.
11. Abe, S.; Murayama, T.; Oba, F.; Narutaki, N., "Stability Check and Reorientation of Subassemblies in Assembly Planning", *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems*, 2 (1999), 486 - 491.
12. Dini, G. Ve Santochi, M., "Automated Seqencing and Subassembly Detection in Assembly Planning", *Institute of Mechanical Technology*, (1992), 1 - 4.
13. Gottipolu, R., B. and Ghosh, K., "Representation and Selection of Assembly Sequences in Computer-Aided Assembly Process Planning", *Int. J. Prod. Res.*, 35 (1996) 12, 3447 - 3465.
14. Lazzarini, B., Marcelloni, F., "A Genetic Algorithm for Generating Optimal Assembly Plans", *Artificial Intelligence in Engineering*, 14 (2000) 14, 319 - 329.
15. Zussman, E., Lenz, E., Shpitalni, M., 1990, "An Approach to the Automatic Assembly Planning Problem", *Annals of the CIRP*, 39 (1990) 1, 33 - 36.
16. Oliver, J., H. and Huang, H., T., 1994, "Automated Path Planning for Integrated Assembly Design", *Computer - Aided Design*, 26 (1994) 9, 658 - 667.
17. Homem de Mello, L. S. and Sanderson, A. C., "A Correct and Complete Algorithm For the Generation of Mechanical Assembly Sequences", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, (1989), 56 - 61.
18. Dilipak, H., Özdemir, A., "Bilgisayar Destekli Montaj: Bölüm 2 - Montaj Sıralarının Otomatik Belirlenmesi", *Politeknik Dergisi*, 4 (2001) 1, 13 - 22.
19. Chakrabary, S. and Wolter J., "A Structure - Oriented Approach to Assembly Sequence Planning", *IEEE Transsactions on Robotics and Automation*, 13 (1997) 1, 14 -29.
20. Arieh, B., D. , Kramer, B., "Computer Aided Process Planning for Assembly: Generation of Assembly Operations Sequence", *International Journal Of Production Research*, 32 (1994) 3, 643 - 656.
21. Özdemir, A., Dilipak, H., "Bilgisayar Destekli Montaj: Bölüm 1 - Temas ve Hareket Fonksiyonlarının CAD Ortamında Otomatik Oluşturulması", *Politeknik Dergisi*, 3 (2000) 1, 71 - 80.

Mehmet Topalbekiroğlu

Gaziantep Üniversitesi
Tekstil Mühendisliği Bölümü

Ali Kireççi

Gaziantep Üniversitesi
Tekstil Mühendisliği Bölümü

L. Canan Dülger

Gaziantep Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü

El Halıcılığında Bilgisayar Destekli Hav İpi Denetim Mekanizması

Bu makale, tamamen insan emeği ve becerisiyle üretilen ve "El Dokuma Halısı" adıyla bilinen halıların elektromekanik olarak üretilmesinin bir bölümünü kapsamaktadır. Dokuma teknolojisi son yıllarda önemli gelişmeler kaydetmiş ve günümüzde son derece hızlı üretim yapabilen halı tezgahları mevcuttur. Ancak, el dokuma halılarının üretim teknolojisi yüzyıllar boyu değişmeden günümüze kadar gelmiştir. El dokuma halılarını makine halılarından ayıran en önemli özellik düğüm şekilleridir. Makine halılarında hav yüzeyi jakar mekanizması yardımıyla oluşturulmakta, el dokuma halılarında ise düğümler birbirinden bağımsız olarak tek tek üretilmektedir. Çalışma, el dokuma halılarını mekanik olarak üretmek amacıyla sayısal veri şeklinde hazırlanan desen bilgilerini kullanarak hav ipinin seçilmesi, ipliğin düğümlenme mekanizmasına transferi ve iplik boyunun kesilmesi amacıyla kullanılacak olan mekanizmaların tasarımını, imalatını ve denetimini içermektedir.

Anahtar Kelimeler: Mekanizma, dokuma, el dokuma halıları, tasarım ve denetim.

GİRİŞ

Halı, "çözümlü iplikleri üstüne ayrı bir desen ipliği ile değişik şekillerde düğüm atılarak, aralarından birkaç sıra atkı ipliği geçirilip sıkıştırılarak aynı yükseklikte veya yer yer farklı yüksekliklerde, kabartmalı olarak kesilmiş, havlı yüzü olan dokumalara" denir [1]. Halı üretim yöntemine göre el halısı ve makine halısı olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. El dokuma halılarını makine halılarından ayıran en önemli özellik dokuma yapısındaki düğüm şeklidir. Şekil 1' de her iki halı için düğüm şekilleri verilmektedir [1,2,3,4]. Makine halılarında hav yüzeyi genellikle iki halının üst üste dokunması ve bir bıçak yardımıyla hav ipliklerin kesilmesiyle oluşturulur (Şekil 1-a). Deseni oluşturan renkli hav ipliklerinin halı yüzeyinde veya halı tabanında kalması jakar mekanizmasındaki millerin hareketlerine bağlıdır, miller ise bilgisayardan gelen desen bilgisine göre hareket eder. Düğüm yapısı Şekil 1.a'da görüldüğü gibi "u" harfine benzer ve bunların atkı iplerinden kolayca sökülmemesi için halıların arka yüzeyi bazen özel yapıştırıcılara kaplanır.

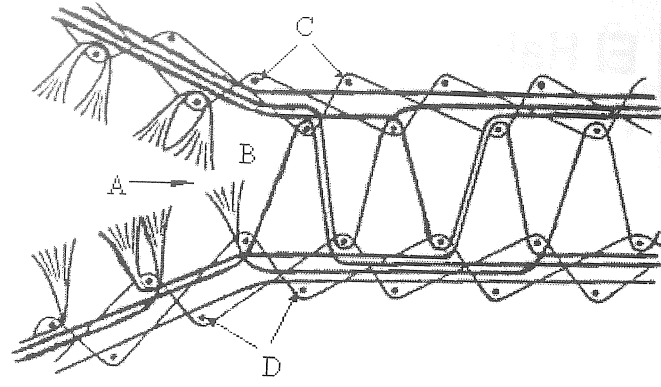
El halılarında ise hav yüzeyi özel düğüm şekilleri kullanılarak hav ipinin bir çift çözümlü ipine dokumacı tarafından tek tek düğümlenmesiyle üretilmektedir. El halılarında kullanılan Türk ve İran Düğümleri Şekil 1.b ve c'de gösterilmektedir.

Geleneksel bir Türk sanatı olan el dokuma halıcılığı Türk sanatlarının en özgün eserlerinden

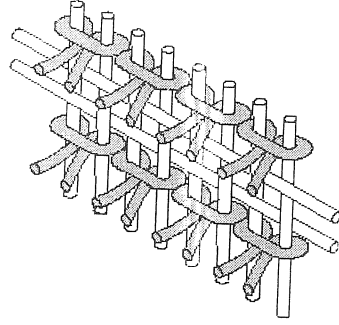
biridir. El dokuma halıları ile makine halıları karşılaştırıldığında, el dokuma halıların daha dayanıklı, uzun ömürlü ve yaylanma özelliğinin daha fazla olduğu bilinmektedir. El halılarının makine halılarından daha üstün özelliklere sahip olmasına rağmen, üretim teknolojilerinin yüzyıllardır değişmeme nedeni düğüm şeklinin karmaşık bir yapıya sahip olması ve düğümlerin birbirinden bağımsız olarak üretilmesi zorunluluğudur. Ancak, günümüz teknolojisi karmaşık yapıya sahip sistemlerin tasarlanmasını mümkün kılmaktadır. Robotların ve bilgisayar denetimli diğer makinelerin endüstride kullanımı teknolojik gelişmelerin örnekleridir.

Literatürde el dokuma halıların üretim teknolojisi üzerine çok az yayına rastlanmıştır. Bunlardan biri, Türk Düğümü'nü elektro-mekanik olarak yapılabilecek bir sistem modelini içermektedir [2]. Diğer çalışmalar daha çok el halısının korunmasını, ekonomik, tarihsel değerlerini ve fiziksel özellikleri incelemektedir [5,6]. Ancak, makine halılarının üretimini içeren birçok çalışma mevcuttur [7,8,9].

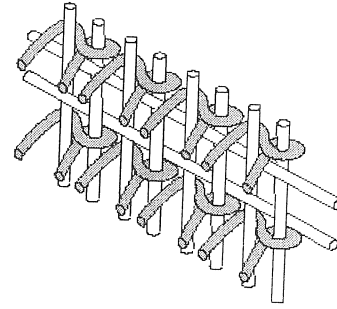
Bu çalışmada, el halılarında kullanılan düğümün mekanik olarak üretilmesi amacıyla halının desen bilgisinin sayısal veriye dönüştürülmesi, bu veriye göre hav ipinin seçilmesi, düğümlenme mekanizmasına transferi ve iplik boyunun kesilmesini içeren mekanizmaların tasarımı, imalatı ve denetimi sunulmuştur.



(a) Makine halısının dokuma yapısı



(b) Türk düğümü



(c) İran düğümü

Şekil 1. Düğüm çeşitleri.

DESEN ÇALIŞMASI

Günümüzde el halıcuları desenlerini özel olarak basılmış kareli kağıtlara çizilmekte ve kağıdın her karesi bir düğüm olarak kabul edilmektedir. Buna uygun kare sıklığında ve uygun büyüklükte kağıda desen çizilir. Birçok el halısının deseni simetrik özellik sergiler. Bu nedenle köşe göbekli halıların dörtte birinin, mihraplı halıların boyuna yarısının ve raporlu halılarda ise tekrar eden kısmın deseni çizmek yeterli olmaktadır [1]. Ancak, bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler kullanım alanlarını paralel olarak artmasına neden olmuş ve günümüzde desen tasarımları bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Bu amaçla birçok yazılım programları geliştirilmiştir. Örneğin makine halılarının, nakış ve örgü kumaşların desenleri bilgisayarlarda oluşturulmaktadır.

Bu bölümde mevcut halı desenlerini bilgisayar ortamına aktarılması ve sayısal bilgiye dönüştürülmesi açıklanmıştır. Bu veri, hav ipe denetim mekanizması için giriş bilgisi olarak kullanılacaktır. Şekil 2'de bir halı resminden sayısal verinin oluşum işlemleri gösterilmektedir.

Dönüştürme işlemi üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada halı resmi tarayıcıdan geçirilerek resim dosyası elde edilir, ikinci aşamada resim

düzenleme kısmında analiz edilir ve son aşamada bir bilgisayar programıyla resim dosyasındaki bilgiler matris formunda sayısal bir dosyaya dönüştürülür.

Tarayıcı

Kataloglardan temin edilen halı resimleri tarayıcı ile grafik dosyalarına dönüştürülmektedir. Genel olarak grafik dosyaları resimleri içerir ve bu resimler değişik grafik dosyası tipleri olarak kayıt edilebilir.

Düzenleme

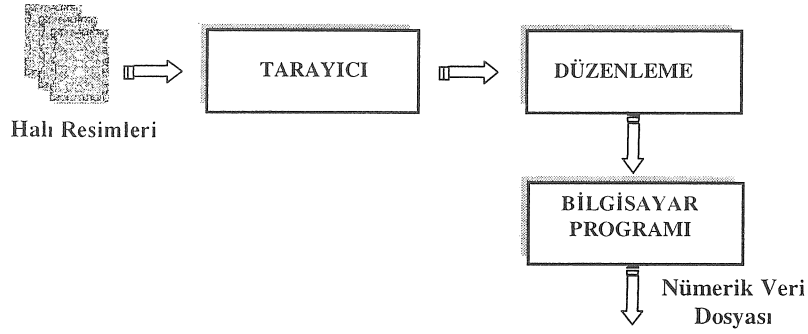
Bu bölümde resim dosyası üzerinde ebatların ayarlanması (çözünürlük) için gerekli değişiklikler yapılır. Çözünürlük parametresi resmin eni ve boyundaki piksel sayısıdır. Yüksek çözünürlükte taranan halı deseni, halının enindeki ve boyundaki çözünürlük sayıları düğüm sayılarına eşit olacak şekilde düzenlenir. Benzer şekilde yüksek renk derinliğine sahip olan görüntü, kullanılacak olan renk sayısına indirgenir. Bu amaçla kullanılacak pek çok ticari paket programları mevcuttur (Microsoft Photo Editors 3.0, Paint Shop Pro 4.12, ve Microsoft Paint).

Bilgisayar Programı

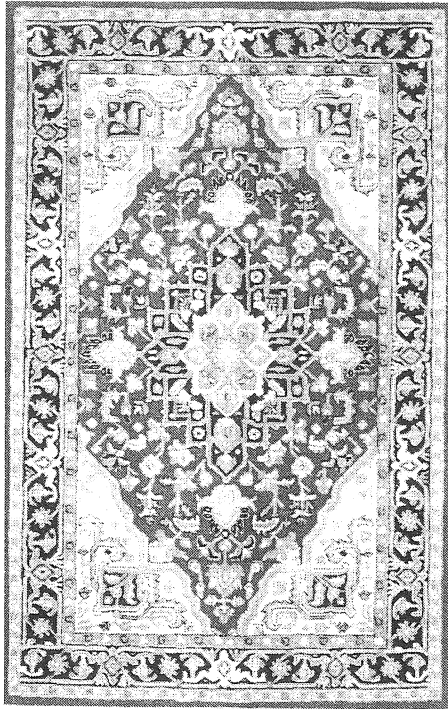
Resim dosyasındaki her piksel değerine karşılık gelen renk bilgisinin sayısal değer olarak elde edilmesi için bir bilgisayar programı hazırlanmıştır. Bu program aşağıda verilen matris formunda bir veri dosyası hazırlamaktadır.

$$A_{n,m} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,m} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n,1} & \dots & a_{n,m} \end{bmatrix}$$

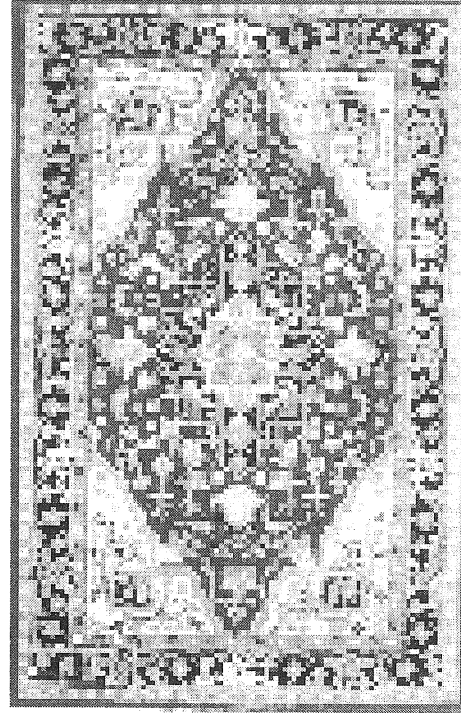
Burada $A(n,m)$ boyutlu matrisin her bir satır ve sütun elemanı halı desenin her bir satır ve sütundaki



Şekil 2. Desenlerin sayısal verilere dönüştürülmesi.



(a) Tarayıcıdan elde edilen halı resmi



(b) Düzenlemeden sonra elde edilen halı resmi

Şekil 3. Halı resimleri

rengin kodunu göstermektedir. Matristeki veri bilgileri ilme iplerinin denetimini yapacak sistemin giriş bilgisi olarak kullanılacaktır.

Bilgisayar programı Delphi programlama dilinde hazırlanmıştır. Desen çalışmasında örnek uygulama için Şekil 3' te gösterilen 100 x 150 cm ebatlarında bir halı seçilmiştir. Halı resmi 300 piksel/inch ve 16 milyon renk derinliğinde taranmıştır (Şekil3-a).

Ancak, Isparta Halısı'nda düğüm sıklığı 24 düğüm / 10cm olduğundan resmin eni 260 piksel boyu ise 390 piksel olacak şekilde düzenlenmiştir (Şekil 3-b). Böylece resimdeki her piksel halıdaki bir düğüme karşılık gelmektedir.

HAV İPİ DENETİM MEKANİZMASININ TASARIMI VE İMALATI

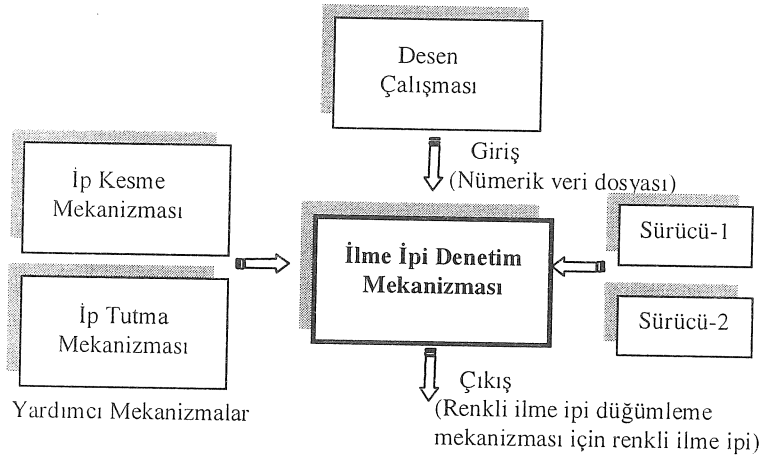
Birçok tekstil ürünlerinde renkli hav iplikleri kullanılmaktadır. Bu iplikler çözgü veya atkı ipliklerin arasına ilave ip olarak yerleştirilerek dokuma yüzeyinde hav oluştururlar. Hav yüzeyi olan dokumalara el halısı, makine halısı, havlu ve battaniye örnek verilebilir. Bu makinelerde hav ipliklerinin denetimini yapan mekanizmalar desene bağlı olarak iplikleri seçmektedirler.

Hav ipi denetimini sağlayacak sistemin blok diyagramı Şekil 4' te verilmiştir. Temel mekanizma olan hav ipi denetim mekanizması iki fonksiyonlu bir mekanizmadır; renk kodu bilgisine göre hav ipinin seçilmesini ve bu ipin düğümleme mekanizmasına transferini sağlar. Bu nedenle mekanizma iki

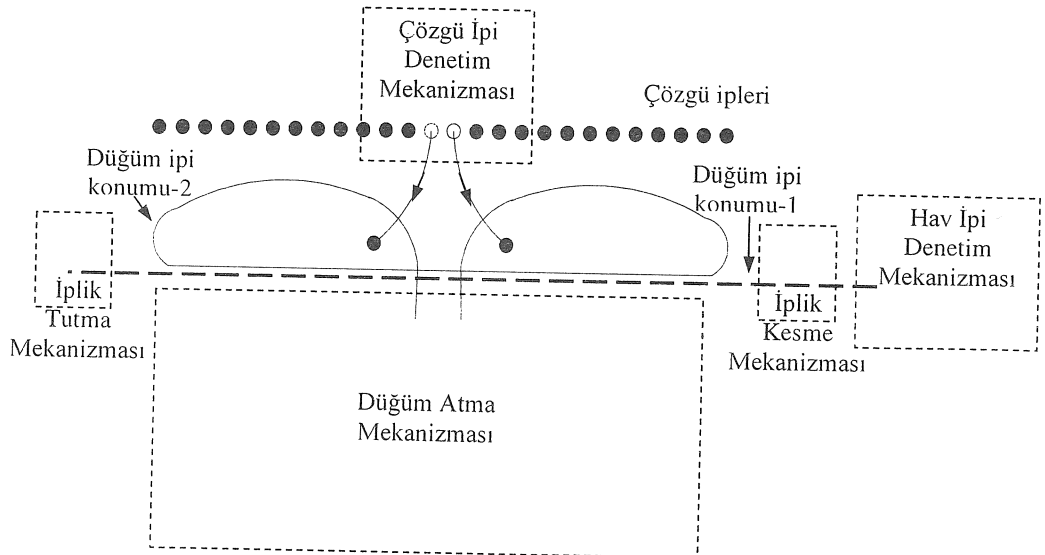
serbestlik derecesine sahiptir. Şekilde görülen ip kesme ve ip tutma mekanizmaları ise yardımcı mekanizmalar, bu mekanizmaların detayları Şekil 6' da gösterilmektedir. İp tutma mekanizması hav ipinin düğümleme mekanizmasına transferi tamamlanana kadar ipin istenilen konumda kalmasını sağlamakta ve ip kesme mekanizması ise transfer tamamlandıktan sonra ip boyunu kesmektedir.

Tasarım

Tasarlanacak mekanizma hav ipinin özelliklerine ve düğümleme mekanizmanın bulunacağı konuma bağlıdır. Hav ipi için Isparta halılarında kullanılan yün iplikler seçilmiştir. Bu iplik Türk Standartları 626'ya uygun ve numarası-kat sayısı 2,5/2 Nm' dir [4].



Şekil 4. Hav ipi denetim mekanizmasının blok diyagramı.



Şekil 5. Hav ipi denetim mekanizmasını oluşturan mekanizmaların konumu.

Şekil 5 Türk Düğümü'nün üretilmesi için kullanılacak mekanizmaların konumlarını, çözgü ve hav iplerinin düğümün oluşturulması için izleyeceği yörüngeleri göstermektedir (Detay için Şekil 7' ye bakın). Mekanizmaların fonksiyonlarını içeren genel bilgiler aşağıda maddeler halinde verilen tasarım kriterlerine dönüştürülmüştür. Mekanizmaların tasarlanması aşamasında bu kriterler belirleyici faktörler olarak kullanılmıştır.

Tasarım Kriterleri

- 1) Mekanizma iki fonksiyona sahip olmalıdır; renk kodu bilgisine göre hav ipinin seçilmesi ve bu ipin düğümleme mekanizmasına transferi. Ayrıca, her bir fonksiyon için mekanizma çift yönlü hareket edebilmelidir.
- 2) Hav ipinin tutabilecek bir yardımcı mekanizma olmalıdır.
- 3) Düğüm atma mekanizması ile hav ipi denetim mekanizması arasında hav ipinin 100 mm boyunda kesilebilmesini sağlayan ikinci bir yardımcı mekanizma gereklidir.
- 4) Mekanizma yüksek hızlarda çalışabilmek için basit bir yapıya sahip olmalıdır.
- 5) Sistemi oluşturan mekanizmalar arasında koordinasyon sağlanmalıdır.
- 6) Mekanizma 8 renkte hav ipi denetimini yapabilmelidir.

Bu kriterlere bağlı olarak ilme ipi denetim mekanizması için Şekil 6' da gösterilen mekanizma geliştirilmiştir.

Tasarlanan mekanizmalar ve sürücülerin montaj resimleri Şekil 6 'da verilmiştir. İplik seçme ve transfer mekanizması bir tambur etrafına yerleştirilmiş 8 adet kovan ve kovanlar içerisine bulunan yaylı iğnelerden oluşmaktadır. Mekanizmanın istenilen renkte hav ipinin seçebilmesi için tambur adım motoruyla gerekli yöne hareket ettirilmekte ve istenilen konum sağlandığında piston ilgili hav ipini taşıyan iğneyi ileri hareket ettirmektedir. İğnenin hareketinin tamamlanmasıyla solenoid devreye girerek ipin boşta kalan ucunu pim ile gövde arasında sıkıştırmakta ve pistonun geri çekilmesiyle hav ipi düğümleme mekanizması için uygun konumda kalmaktadır. İpin düğümleme mekanizmasına transferinin tamamlanmasından sonra ikinci yardımcı mekanizma olan makas diğer piston tarafından hareket ettirilerek ipin kesilmesini sağlamaktadır. Hav ipinin düğümleme mekanizmasına yüklenmesinden sonra solenoid geri çekilerek hav ipi serbest bırakılmaktadır. Şekil 7' de deneysel düzeneğinden bir fotoğraf verilmiştir. Bu

fotoğraf üzerinde mekanizmaların ayrıntıları ve hav ipinin konumu gözükmektedir.

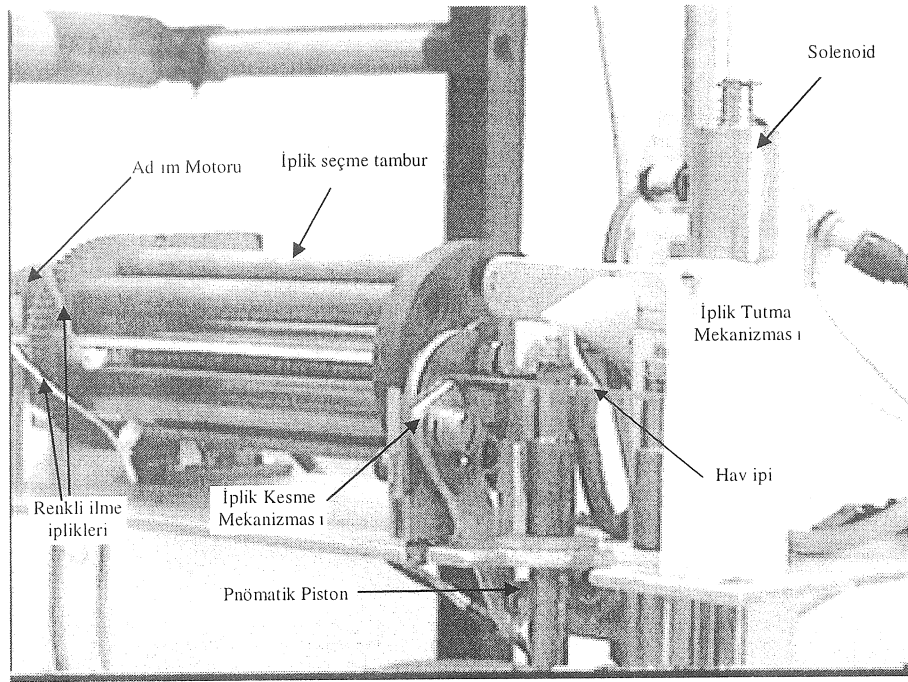
SİSTEM DENETİMİ

Şekil 8' de sistemdeki mekanizmaların denetimini sağlayan elemanların blok diyagramı verilmiştir. Tüm sürücülerin denetimi Delphi dilinde hazırlanan bir yazılımla sağlanmaktadır. Önceden hazırlanmış olan desen bilgisinden düğüm renk kodu okunmakta ve bu koda göre tamburun hareketi program içerisinde hesaplanmaktadır. Hareket profili PC içerisinde yerleştirilmiş olan denetim kartı sayesinde adım motoru için gerekli sinyale dönüştürülmekte ve motor sürücüsünde güçlendirildikten sonra motorunun istenilen hareketi yapması sağlanmaktadır. Diğer sürücülerin (pistonlar ve solenoid) zamanlaması program tarafından belirlenen açık/kapalı sinyaller ile sağlanmaktadır. Sistemi oluşturan başlıca elemanlar aşağıda verilmiştir.

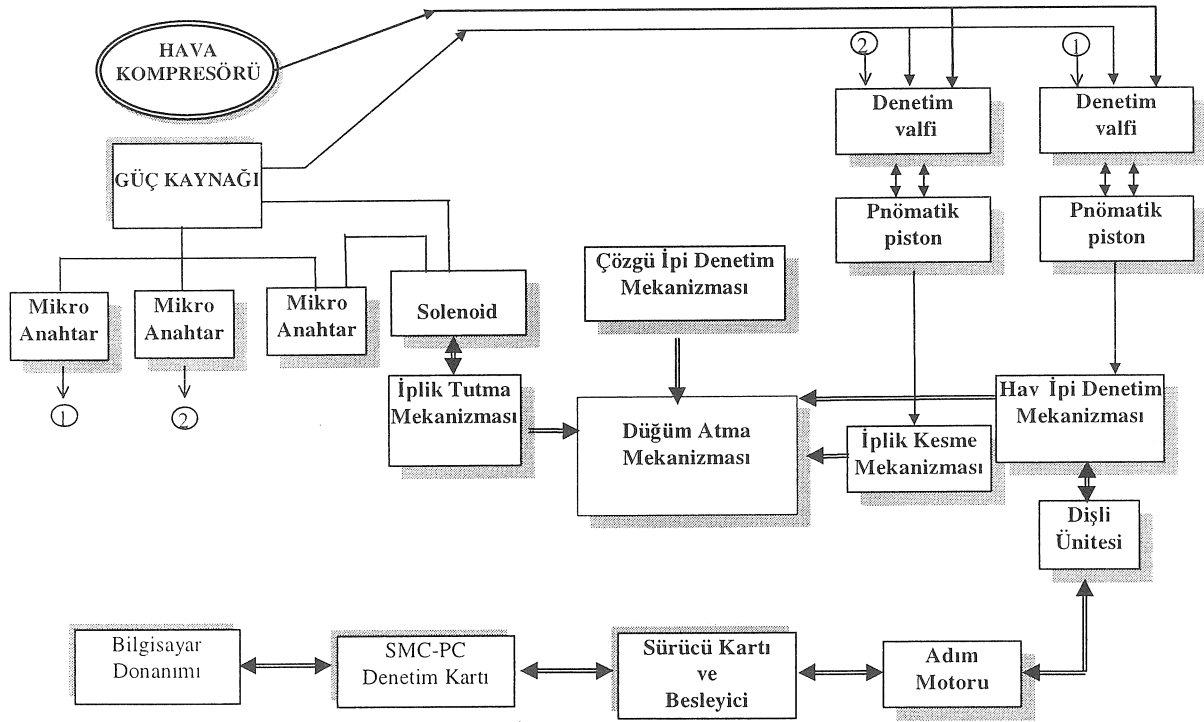
- 1) adım açısı 1.8° ve iki fazlı bir adım motoru (Nanotec, Tipi 4H5618C1708-A)
- 2) 4 eksen denetleyecek bir adım motor denetim kartı (SMC PC Module) [11].
- 3) 16 bit mikro işlemcili bir adım motor sürücüsü (SMC 88) ve besleyici.
- 4) ayarlanabilir bir DC güç kaynağı.
- 5) 1 adet PC.
- 6) strok boyu 160 mm, maksimum basınç 10 bar olan bir havalı piston (Camozzi)
- 7) strok boyu 40 mm, maksimum basınç 10 bar olan bir havalı piston (Camozzi).
- 8) basınç aralığı 2-10 bar ve tipi ESY-52m-1/4 olan iki denetim valfi
- 9) depo hacmi 12 Litre, basınç aralığı 0-12 bar olan bir kompresör

SONUÇ

Önemli el sanatlarımızdan biri olan el dokuma halcılığının üretim şekli yüzyıllardır değişmemiştir. Bu makale, makine halılarıyla kıyaslandığında pek çok avantajı olan el dokuma halılarının mekanik olarak üretilmesi çalışmasının bir kısmını kapsamaktadır. Makalede tanıtılan mekanizmaların imalatı gerçekleştirilmiş ve test çalışmalarında her hangi bir problem tespit edilmemiştir. Tezgaahı oluşturan diğer mekanizmalar üzerinde tasarım ve imalat çalışmaları devam etmektedir. Projenin hedefi el dokuma halısı özelliklerine sahip halıların mekanik olarak üretilmesidir.



Şekil 7. Hav ipi denetim mekanizmasının fotoğrafı.



Şekil 8. Hav ipi denetim mekanizmasının denetim blok diyagramı

This paper is a part of study which includes electromechanical production of hand made carpets. The weaving technology has been recorded important developments and there are many carpet looms working at high speeds. However, production method of hand made carpets has not changed for several hundred years. The main difference between handmade and machine carpets is in their pile loop formation. The pile surface of machine carpets are produced by Jacquard mechanism, but it is produced independently in the handmade carpets by the weaver. This paper presents the design, construction and control of the mechanisms which prepare the pile yarn to the weaving mechanism according to a certain pattern.

Keywords: Mechanism, weaving, handmade carpet weaving, design and control.

KAYNAKÇA

1. Çetin Aytaç, *El Dokumacılığı*, 3. Baskı, Milli Eğitim Basımevi, 1997.
2. Ali Kireççi, Cengiz Doğan ve Mehmet Topalbekiroğlu, *El Dokuma Halıların Mekanik Olarak Dokunması*, 7. *Ulusal Makine Teorisi Sempozyumu*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, sayfa: 19-26, 20-22 Eylül 1995.
3. Mehmet Topalbekiroğlu, *Design, Construction and Control of Computer Controlled Knotting System*, Ph. D. Thesis, University of Gaziantep, July 2002.
4. Türk Standardları Enstitüsü, *Textile Floor Covering-Handmade Carpets-Turkish Carpets*, Birinci Baskı, Ankara, TS 43/Nisan 1992.
5. Neriman Gürtanır, Yaşlı Yazıcıoğlu ve Nuran Canikili, *Değişik Düğümlene Sistemleri Kullanarak Farklı Hav Yüksekliklerinde Üretilmiş El Dokusu Halıların Resilyans Özellikleri*, IV. *Tekstil Sempozyumu*, Bursa, 25-27 Ekim 1988.
6. Önder Küçükerman, *Türk Halıcılığının Tarihden Gelen Sorunları*, *Arış Dergisi*, sayfa: 88-93, Ankara, 1997.
7. A. Crossland, *Modern Carpet Manufacture*, Columbine Press Manchester & London, 1958.
8. Z. J. Grosicki, *Watson's Advanced Textile Design*, Newnes - Butterworths, 1913.
9. George Robinson, *Carpets and Other Textile Floorcovering*, Division of Bonn Industries Inc., Second Published Edition 1972.
10. *Microsoft Photo Editor 3.0*, 1989-1996 Microsoft Corporation.
11. PP Electronic GmbH, *Manual SMC-PC*, Germany

Bayram Aydın
Arş. Gör.

Yusuf Özçatalbaş
Yrd. Doç. Dr.

Gazi Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi
Metal Eğitimi Bölümü
06500 ANKARA

AA2014 (T6) Alaşımının İşlenebilirlik Özelliklerine Kesici Takım Geometrisinin Etkisi

Bu çalışmada, yaşlandırma (T6) ısıtma işlemi uygulanmış, 134 BSD sertliğe ve 507 N/mm² çekme dayanımına sahip AA2014 alaşımının talaşlı işlenebilirlik özellikleri araştırılmıştır. Farklı iki geometrideki kesici takımla tormalanan malzemenin yüzey pürüzlülüğü, tormalama kuvvetleri ve farklı kesme hızlarında oluşan talaş kökü morfolojileri belirlenmiştir. Düşük kesme hızlarında, küçük talaş açılı (6°) takım ile işleme sırasında büyük boyutlu yığıntı talaş (YT) oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünde artış gözlemlenmiştir. Büyük talaş açılı 30° takım ile işlemede ise YT boyutlarında, yüzey pürüzlülüğünde ve kesme kuvvetlerinde azalma görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: AA2014 alaşımı, işlenebilirlik, takım geometrisi

GİRİŞ

Al-Cu alaşımları, bir çok metal ve alaşıma göre üstün özellikler sergilemesi sebebiyle günümüz endüstrisinin vazgeçilmez malzemelerinden birisi haline gelmiştir. Özgül ağırlığının düşük, korozyon direncinin yüksek, alaşımlandırılabilir, parlak bir renge sahip olması ve doğada cevher olarak bol miktarda bulunması üstün özelliklerinden sadece bir kaçıdır. AA2014 alaşımı 2xxx serisi içerisinde en çok kullanılan alaşımlardan bir tanesidir. Isıl işlemlerle ve alaşım elementleri takviyesiyle mekanik özelliklerinin geliştirilebilmesi endüstride, uçak, otomobil, makine ve tren vagonları imalatı gibi alanlarda kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

AA2014 alaşımı genellikle talaşlı imalat yöntemleriyle şekillendirilmektedir. Tormalama işlemleri talaşlı şekillendirmenin büyük bir kısmını kapsamaktadır. İdeal işlenebilirlik özelliklerinin elde edilmesinde malzemenin mekanik özellikleri yanında kullanılan tezgahın rijitliği, ilerleme miktarı, paso derinliği, kesme hızı ve kesici takım geometrisi gibi parametreler etkili olmaktadır [1,2]. Kesme hızı ve kesici takım geometrisi işlenebilirlik özelliklerine etkisi bakımından en önemli parametrelerdendir [1-3]. AA2014 alaşımının işlenmesinde düşük kesme hızlarında oluşan yığıntı talaş (YT) (Built-Up Edge) yüzey pürüzlülüğünün yüksek çıkmasına sebep olmaktadır [4,5]. Artan kesme hızıyla birlikte YT oluşumu ortadan kalkmakta ve yüzey pürüzlülüğü düşmektedir [6]. Aynı zamanda, düşük kesme hızlarında oluşan YT etkin talaş açısını artırması sebebiyle kesme kuvvetlerinin azalmasına yol açmaktadır [7-9]. Kesici takımın geometrisi, talaş oluşumu, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde etkili olmaktadır. Takımın pozitif talaş

açısının artması takım/talaş temas alanını daraltmaktadır. Bu durum, takım/talaş ara yüzeyindeki sürtünme kuvvetini azalttığından kesme kuvvetleri de düşmektedir [7]. Aynı zamanda, artan pozitif talaş açısıyla düşük kesme hızlarında oluşan YT boyutları azalmakta ve yüzey pürüzlülüğü düşmektedir.

Bu çalışmada, AA2014 Al-Cu alaşımının talaş oluşumuna, yüzey pürüzlülüğüne ve kesme kuvvetlerine kesme hızının ve takım geometrisinin etkisi araştırılmıştır.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmada, Çizelge 1'de kimyasal bileşimi verilen 50 mm çapında yaşlandırma (T6) ısıtma işlemi uygulanmış duralüminyum tipi AA2014 (ETİAL 21) malzemesi kullanılmıştır.

Çizelge 1. Deney malzemesinin kimyasal bileşimi (Ağırlıkça %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
0,693	0,521	4,21	0,574	0,379	0,184	Kalan

Deney malzemesi, ingot malzemedan 450 °C'de yatay direkt ekstrüzyon yoluyla 50 mm çapında üretilmiştir. Malzeme ekstrüzyon sonrası kendi halinde soğutulmuş ve sonra T6 ısıtma işlemine tabi tutulmuştur.

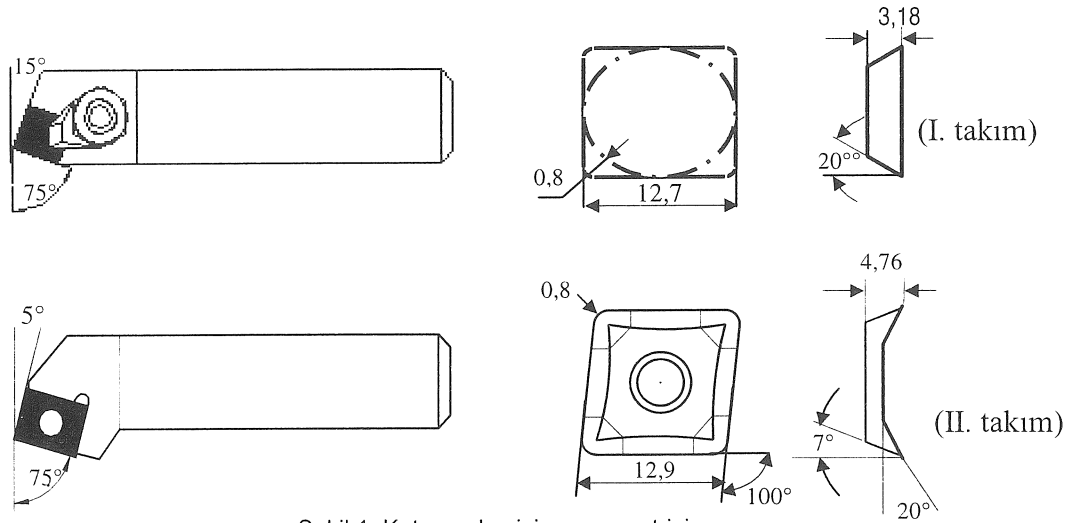
Sertlik deneyi, yüzeyleri hassas işlenmiş 10 mm kalınlığındaki numuneler üzerinde Instron Wolpert GmbH marka Brinell sertlik ölçüm cihazında yapılmıştır. Sertlik ölçüm deneyinde 2,5 mm çapında bilya uç ve 187,5 kg yük kullanılmıştır. Sertlik değeri

belirlenirken, numune dış yüzeyinden merkeze doğru 10 ölçüm yapılarak ortalaması alınmıştır. Çekme deney numuneleri TSE 138'e [10] göre ilk kesit alanı 100 mm, çap 11,28 mm, ilk ölçü uzunluğu 56 mm, gövde uzunluğu 62 mm, kavis yarı çapı 10 mm ölçüsünde hazırlanmıştır. MFL marka 20 ton kapasiteli çekme cihazında dört adet çekme numunesi kullanılarak çekme deneyi gerçekleştirilmiştir.

İşlenebilirlik deneylerinde, K10 kalitesinde iki farklı geometriye sahip mekanik sıkımalı tip sert metal kesici uç kullanılmıştır. I. ve II. takım geometrilerinin her ikisi içinde yan kesme açıları (yanaşma açıları) (75°), uç yarıçapları (0,8 mm) ve kesici uç malzemeleri aynı olmakla birlikte yan boşluk açısı, uç açısı ve esas olarak talaş açılarında belirgin bir farklılık mevcuttur. Bu sebeple, deney sonuçlarının tartışılmasında takımların yan talaş açılarındaki farklılık göz önüne alınmıştır. Zira, kesme kuvvetleri ve talaş morfolojisini etkileyen en önemli takım parametresinin yan talaş açısı olduğu literatürde de [5] belirtilmektedir. Deneylerde kullanılan kater ve kesici takımlar Şekil 1 ve Çizelge 2'de verilmiştir. Talaş kaldırma deneyleri 7 kW

gücündeki bir torna tezgahında ilerleme $f = 0,24$ mm/dev ve talaş derinliği $a = 1,6$ mm seçilerek yapılmıştır.

İki farklı takımla işlenen yüzeylerin pürüzlülüğü surfest 211 Mitutoyo marka yüzey profilometresi ile ilerleme yönünde ölçülmüştür. Profilometre iğnesi uç yarı çapı $5 \mu\text{m}$ ve ölçme kuvveti 0,4 grf, ilerleme hızı 0,5 mm/sn, örnekleme uzunluğu ise 0,8 mm dir. Belirtilen kesme parametreleri ve sekiz farklı kesme hızında talaş kaldırma işlemi yapılmıştır. Kesme (F_c) ve ilerleme (F_f) kuvvetleri strain-gauge'li bir dinamometre ile ölçülmüştür. Aynı zamanda talaş kökü numuneleri belirlenen kesme hızlarında ani durdurma cihazı (ADC) kullanılarak hazırlanmıştır. Takım geometrisinin talaş oluşum mekanizmasına etkisini belirleyebilmek için üç farklı kesme hızında işleme sırasında ADC kullanılarak talaş kökleri hazırlanmıştır. Talaş kökleri metalografik muayene için epoksi reçineye gömülmüş ve 2,5 ml HNO_3 , 1 ml HCl , 1,5 ml HF ve 95 ml su içeren modife edilmiş Keller reaktifli ile 60 - 90 sn dağlanarak optik mikroskopta incelenmiştir.



Şekil 1. Kater ve kesici uç geometrisi

Çizelge 2. Kesme geometrisi

Takım geometrisi	I. takım	II. takım
Yan talaş açısı (γ)	6°	30°
Arka (geriye) talaş açısı	0°	20°
Uç açısı	90°	100°
Yan boşluk açısı	14°	7°
Yanaşma açısı (K_r)	75°	75°
Uç yarı çapı	0,8 mm	0,8 mm
Kesici uç ISO kodu	SEGN 120308	CCGT 120408
Kater ISO kodu	CSBPR 25x25 L12	SCRRCR 25x25 L12
Yan talaş açısı: Takım yüzü ile takım tutucu (kater) gövdesine paralel yatay düzlem arasındaki açı. Arka talaş açısı: Gövdeye dik düzlemle kesici uç yan kenarına paralel düzlem içinde ölçülen, kater gövdesine paralel yatay düzlemle takım yüzeyi arasındaki açı.		

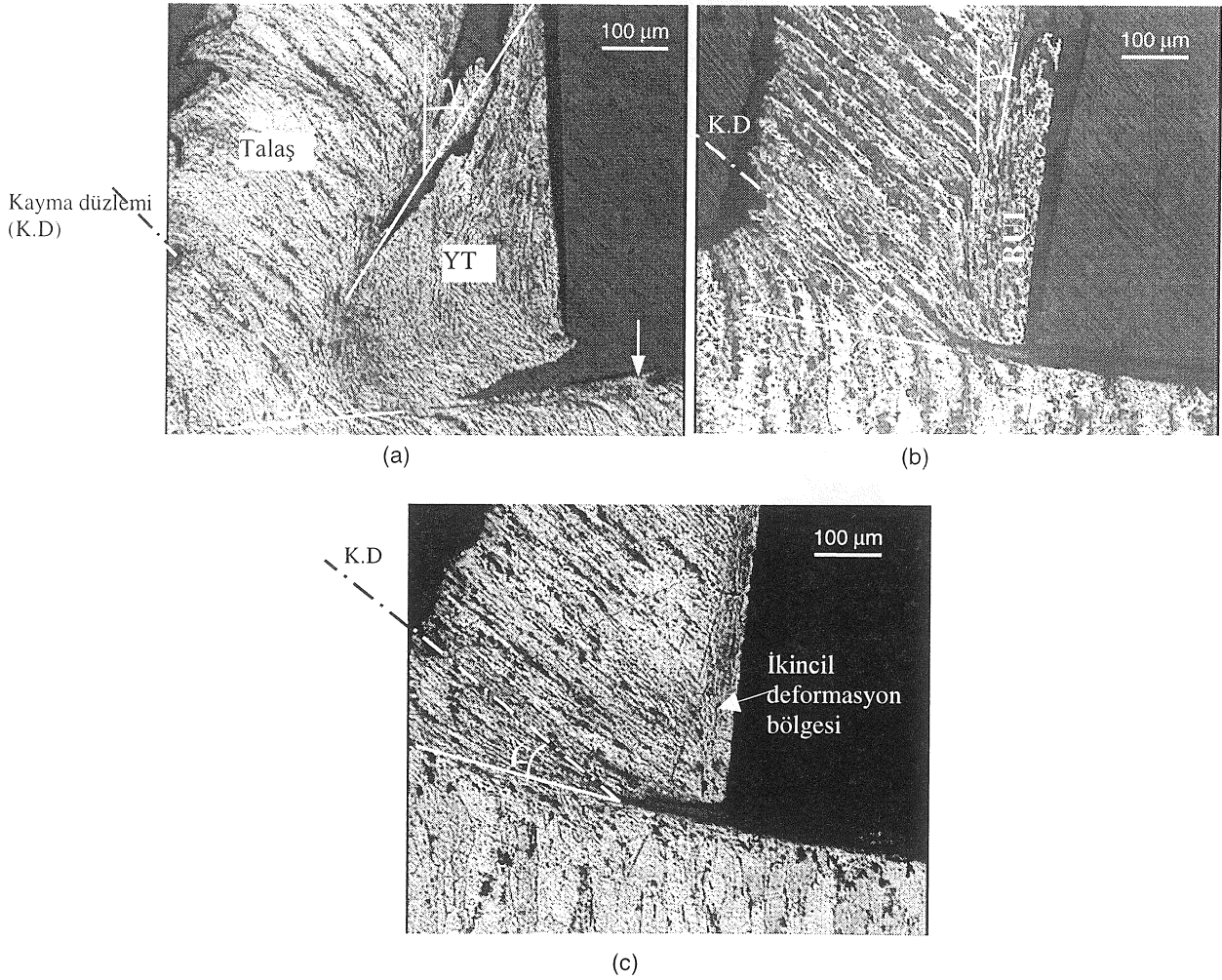
SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Talaş oluşumu

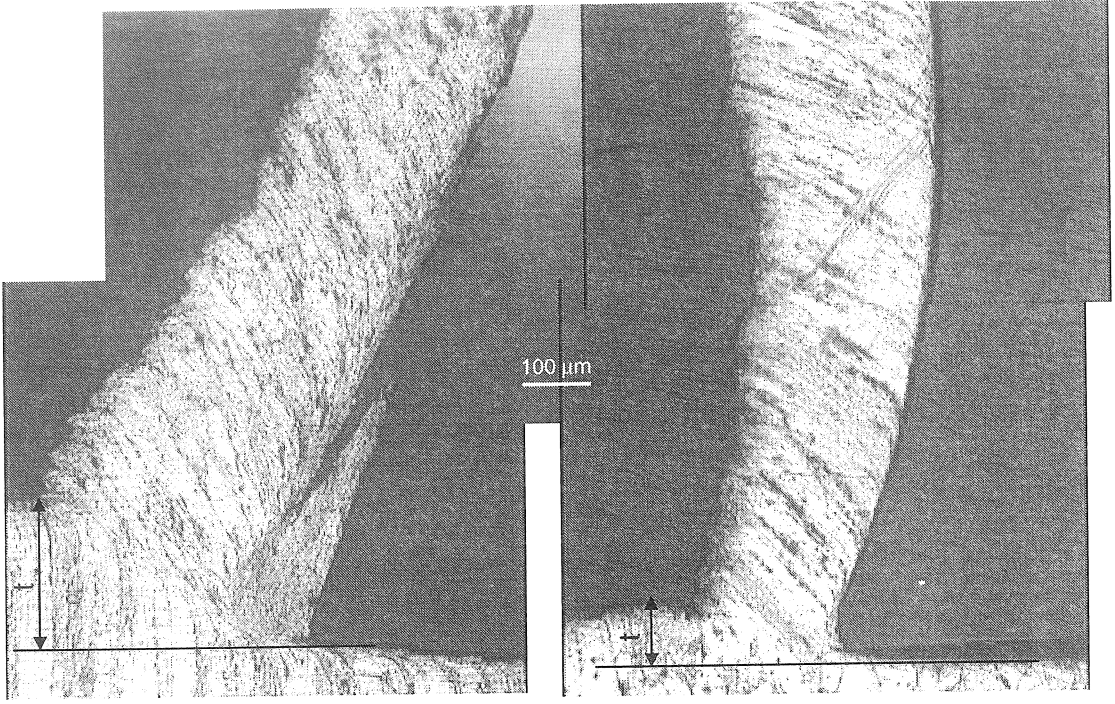
I. ve II. takımın üç farklı kesme hızında tornalama sırasında oluşan talaş köklerinin mikroyapıları Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.

I. takımın işlemede, 15 m/dak kesme hızında (Şekil 2.a) büyük boyutlarda YT oluşumu, 87 m/dak'da (Şekil 2.b) yığıntı tabaka (BUL) oluşumu ve 171 m/dak'da ise talaşın ikincil deformasyon bölgesinde yoğun deformasyona uğradığı ve (Şekil 2.c) ince bir deformasyon tabakasının oluştuğu görülmektedir. Düşük kesme hızlarında büyük boyutlarda YT'nin oluşması kesme düzlemi açısı (θ) ve etkin talaş açısını arttırmıştır [6,7]. Bu durumda ikinci deformasyon bölgesinde takım/talaş temas

alanı daralmış ve sürtünme kuvvetleri azalmıştır [7-9]. Ancak YT'nin kesici takımı kesme bölgesinden uzaklaştırarak kesici kenar gibi davranması işlenmiş yüzeyin deformasyon miktarını arttırmış ve yüzey pürüzlülüğünün artmasına yol açmıştır (Şekil 2.a'da okla gösterildi). Artan kesme hızıyla birlikte takım/talaş ara yüzey sıcaklığının artması YT'nin akma dayanımının düşmesine sebep olduğundan [2] YT küçülerek ortamdaki kalkmış ve takımın talaş yüzeyinde yığıntı tabaka (BUL) oluşmuştur [11]. 87 m/dak kesme hızında elde edilen mikroyapı fotoğrafında görülen (BUL) oluşumunun talaş açısını fazla etkilemediği belirlenmiştir. 171 m/dak kesme hızında artan kesme sıcaklığı sebebiyle ince bir ikincil deformasyon tabakası oluşmuştur. Kesme hızı arttıkça tabaka kalınlığının azaldığı söylenebilir.

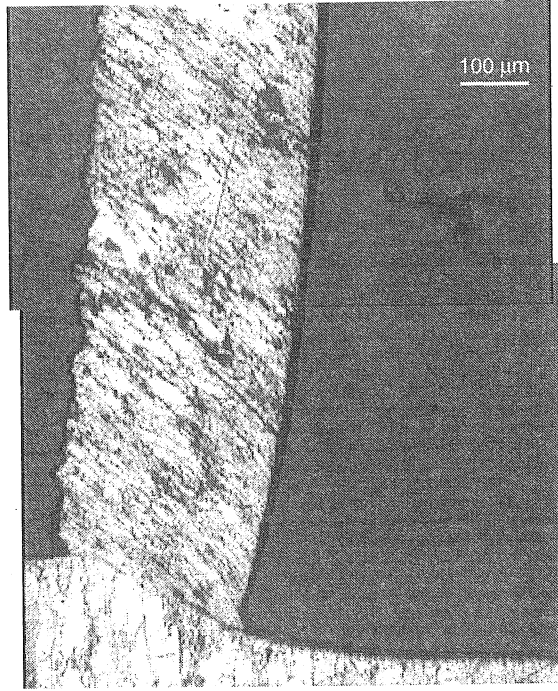


Şekil 2. I. takımın işlemede oluşan talaş morfolojileri a) 15 m/dak b) 87 m/dak c) 171 m/dak



a)

(b)



(c)

Şekil 3. II. Takımla işlemede oluşan talaş morfolojileri a) 15 m/dak b) 87 m/dak c) 171 m/dak

Şekil 3'de II. takım ile işlemede elde edilen talaş kökü morfolojisi ve mikroyapı fotoğrafları verilmektedir. Şekil 3.a'da YT oluşumu, Şekil 3.b ve 3.c'de ise YT veya (BUL) oluşmadığı görülmektedir. 15 m/dak kesme hızında yığıntı talaş oluşmuştur ancak boyutu, I. takım ile yapılan işlemede oluşan YT boyutundan çok daha küçüktür. Bu durum, II. takımın büyük talaş açısından kaynaklanmaktadır. Zira, takım/talaş temas alanı daralmış ve ikincil deformasyon bölgesinde talaşın deformasyon miktarı azalmıştır. 87 m/dak kesme hızı ve sonrasında II. takım ile işlemede YT veya BUL oluşmamıştır. Şekil 3'deki kesilmemiş talaş kalınlıklarındaki farklılık, kesilmiş talaş kalınlıklarında da farklılık meydana getirmiştir. Bu durum, ADC'nin kullanımı sırasında kesilmemiş talaş derinliğinin (t) sabit tutulmadığını göstermektedir. Özellikle 87 m/dak ve üzerindeki kesme hızlarındaki tornalamada, kesici takımın düşürülmesi anında takım kesme konumundan uzaklaşırken dahi talaş kaldırma devam etmiştir. Şekil 3b'de bu etki açıkça görülmekte ve kesme bölgesinden uzaklaştıkça kesilmiş talaş kalınlığı artmaktadır. Şekil 3b ve c'deki talaş açılarındaki farklılık ise, talaş kökünün tornalanmış numuneden çıkarılırken zorlanmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Yüzey Pürüzlülüğü

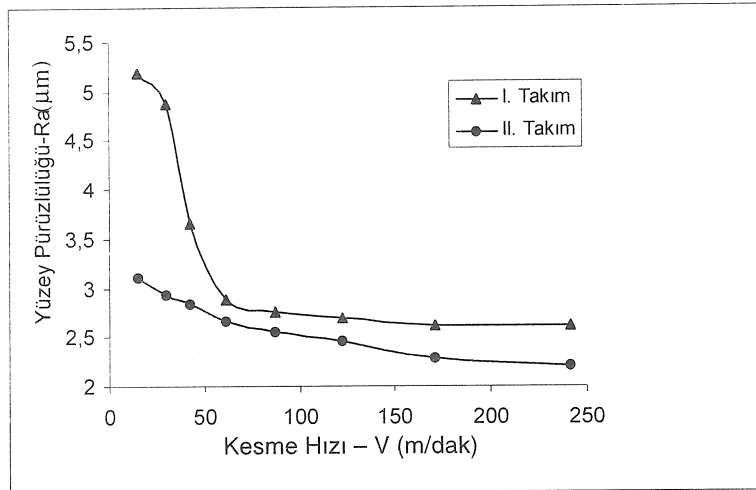
Farklı geometriye sahip iki takım ile tornalama sırasında kesme hızına bağlı yüzey pürüzlülüklerindeki değişim Şekil 4'de verilmiştir.

Minimum kesme hızında I. takım ile işlenen malzemenin yüzey pürüzlülüğü çok yüksektir ve 5,2 μm civarındadır. Artan kesme hızıyla yaklaşık 60 m/dak kesme hızına kadar Ra değerinde hızlı bir düşüş görülmekte ve pürüzlülük $Ra \approx 2,7 \mu\text{m}$ 'ye

kadar azalmakta bu hızdan sonra kesme hızından bağımsız Ra yaklaşık sabit kalmaktadır. Minimum kesme hızında II. takım ile işlenen numunelerde ise yüzey pürüzlülük değeri $Ra \approx 3,1 \mu\text{m}$ 'dir. Artan kesme hızıyla Ra değeri 2,2 μm 'ye kadar düşmüştür. Pürüzlülük değerlerinden de anlaşılacağı gibi II. Takım ile işlenen numunelerde yüzey pürüzlülüğü daha düşük değerlerde elde edilmiştir. Bu durum takım ve kesme geometrisinin önemini ortaya koymaktadır. Takım talaş açısının artmasıyla azalan YT oluşma eğilimi düşük kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünü düşürmüştür. Özellikle I. takımında düşük kesme hızlarında Ra değerindeki hızlı düşüşün sebebi YT'nin yüzey pürüzlülüğüne etkisine bağlanabilir. Zira YT boyutları kesme hızının artmasına bağlı olarak küçülme ve Ra azalmaktadır. Fakat II. takımında düşük kesme hızlarında YT'nin etkisi daha azdır ve yüzey pürüzlülüğü I. takıma göre çok daha düşüktür. Arttırılan kesme hızıyla yüzey pürüzlülüğünün düşme eğilimi devam etmektedir. Nihai kesme hızlarında minimum $Ra \approx 2,2 \mu\text{m}$ değeri II. takım ile sağlanmıştır. Ancak bu değer hesaplanan teorik ($Ra = 0,321 \cdot 0,24^2 / 0,8$) $Ra = 2,3 \mu\text{m}$ değerinden küçük olduğu görülmektedir. Bu etki, rombik uçlu II. takımın kesme geometrisine bağlanabilir (Şekil 1). Zira çok küçük tali kesme kenarı açısının (5°), uç yarıçapının teorik yaklaşımdaki geometrik etkisini, yüzey pürüzlülüğünü azaltıcı yönde olumlu etkilediği düşünülmektedir.

Talaş Kaldırma Kuvvetleri

Her iki takım ile yapılan işleme sırasında elde edilen kesme kuvvetinin (F_c) kesme hızına göre değişimi Şekil 5'de, ilerleme kuvvetinin (F_f) değişimi ise Şekil 6'da verilmiştir.

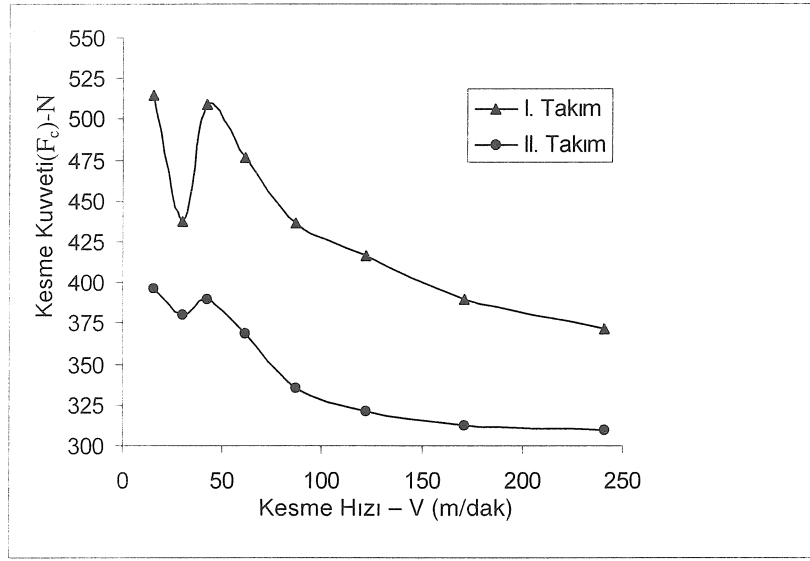


Şekil 4. Takım geometrisi ve kesme hızının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

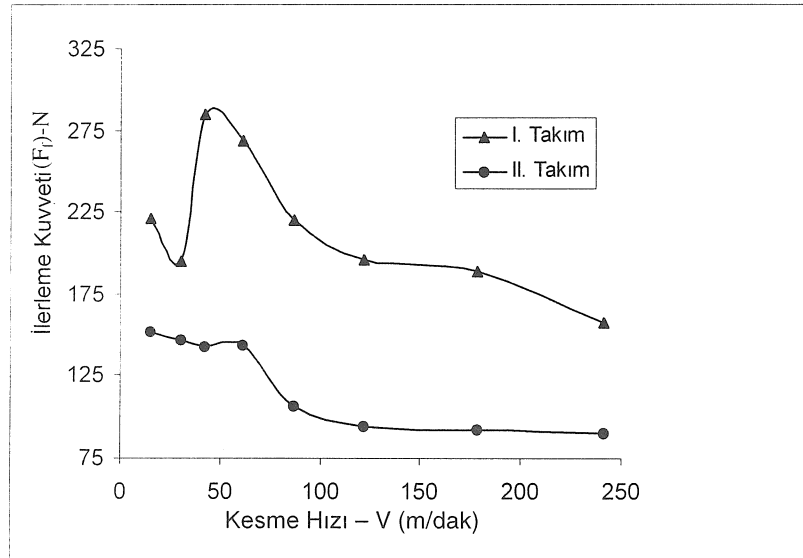
I. takım için maksimum $F_c = 515$ N, minimum F_c ise 372 N'dur. II. takımda ise F_c daha küçüktür ve düşük kesme hızlarında $F_c \cong 396$ N, yüksek kesme hızlarında ise $F_c \cong 310$ N civarındadır. I. takımda 42 m/dak kesme hızına kadar F_c 'deki değişimin sebebi YT oluşumu ile ilgilidir. Takım/talaş ara yüzeyinde kararlı YT oluşumu kesici takımın etkin talaş açısını arttıracığından ve dolayısıyla kesme düzlemi açısının artmasıyla azalan kesme alanı talaş kaldırma kuvveti bileşenlerinin azalmasına sebep olur [7,8]. Ayrıca, takımın talaş yüzeyinde YT'nin varlığı takım/talaş temas alanını da kısaltır. Bu sebeple azalan sürtünme kuvvetleri de F_c ve F_f 'in azalmasına sebep olur [7,8]. Bu etki I. takımın işlemede daha belirgindir ve 30 m/dak kesme hızında YT muhtemel maksimum boyutuna ulaşmıştır. I. takımın yapılan işlemede YT boyutunun büyük olmasından dolayı F_c kuvvetinde

düşük kesme hızındaki değişim daha fazla oranda olmuştur.

Şekil 6'da görüldüğü gibi F_f kuvvetleri de F_c kuvvetleri ile benzerlik göstermektedir. İlerleme kuvveti I. takımın en yüksek 285 N en düşük 158 N, II. takımın en yüksek 152 N en düşük 90 N olarak belirlenmiştir. I. takımın yapılan işlemede ~ 42 m/dak'dan yüksek kesme hızlarında F_c ve F_f 'de hızlı bir azalma görülmektedir. Her iki takım için F_c ve F_f 'de oluşan belirgin farklılık bu kesme hızlarında YT'nin giderildiği ve BUL'un oluştuğu kesme hızı olarak düşünülebilir. Bu hızdan sonra kesme kuvvetlerindeki düşüş ise artan kesme sıcaklığı ile malzemenin akma gerilmesindeki düşüşe bağlanır [4]. Yaklaşık aynı ilişki çok daha küçük değişimle II. takım için de belirlenmiştir.



Şekil 5. Takım geometrisi ve kesme hızı / kesme kuvveti ilişkisi



Şekil 6. Takım geometrisi ve kesme hızı / ilerleme kuvveti ilişkisi

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, T6 ısıtılma işlemi uygulanmış AA2014 malzemesi işlenebilirlik özelliklerinin farklı kesme hızları ve farklı geometride takımlar kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

- Her iki takım ile yapılan işlemede yüzey pürüzlülüğü 61 m/dak kesme hızına kadar belirgin bir düşüş göstermiştir. 61 m/dak'dan büyük kesme hızlarında yüzey pürüzlülüğünün kesme hızından etkileşimi çok daha azdır. Minimum yüzey pürüzlülüğü büyük talaş açılı takım ile işlemede oluşmuştur.
- Talaş kaldırma kuvvetleri ~ 50 m/dak kesme hızına kadar YT oluşmasından dolayı kararsızlık göstermektedir. Daha sonraki kesme hızlarında her iki takım için F_c ve F_f kuvvetlerinde düşüş gözlemlenmiştir. II. takım ile işlemede elde edilen talaş kaldırma kuvvetleri pozitif talaş açısının yüksek olmasından dolayı daha düşüktür.
- Talaş kökü morfolojisi ve mikroyapı incelemelerinde I. takım ile işlemede 171 m/dak kesme hızında, II. takım ile işlemede ise 87 m/dak kesme hızında YT ve BUL'un oluşmadığı belirlenmiştir.
- T6 ısıtılma işlemi AA2014 malzemenin talaş işlenmesinde büyük talaş açılı takım kullanılması, talaş kaldırma kuvvetlerinin minimize edilmesi ve bitirme yüzey kalitesinin artırılması için 100 m/dak kesme hızının üzerine çıkılması önerilir.

EFFECT OF CUTTING TOOL GEOMETRY ON THE MACHINABILITY PROPERTIES OF AA2014 (T6) ALLOY

In this study, machining properties of AA2014 alloy, with hardness of 134 BHN and tensile strength of 507 N/mm², aged by T6 heat treatment were investigated. Surface roughness, cutting forces and chip root morphology formed at different cutting speeds on turned material by means of two different cutting tool geometries were determined. During machining the test material with a small rake angle (6°) tool, a larger built-up edge (BUE) formation and an increasing surface roughness were observed at low cutting speeds. A decreasing in BUE, in surface roughness, and in cutting forces was observed during machining with a larger rake angle (30°) tool.

Keywords: AA2014 alloy, machinability, tool geometry

KAYNAKLAR

1. Özçatalbaş, Y., Düşük Alaşımli Çelikte Yığıntı Talaş Oluşumunun İşleme Özelliklerine Etkisi, 8. Uluslararası Makine Tasarım İmalat Kongresi ODTÜ, Ankara, 1998.
2. Trent, E.M., Metal Cutting, Tanner Ltd, London 1998.
3. Aluminium, Fabrication and Finishing, American Society for Metals, Metals Park, Volume III, Ohio 1967.
4. Dae, E.K. ve Dong, H.H., Experimental Investigation of the Contact Sliding Behaviour of Metals, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Volume 120, P 395-400, Korea 1998.
5. Jeelani, S. ve Musial, M., Dependence of Fatigue Life on the Surface Integrity in the Machining of 224-T 351 Aluminum Alloy Unlubricated Conditions, Journal of Materials Science, 21, P 155-160, USA 1986.
6. Oishi, K., Mirror Cutting of Aluminium with Sapphire Tool, Journal of Materials Processing Technology, 62, pp: 331-334, Japan 1996.
7. Özçatalbaş, Y., Düşük Alaşımli Çelikte Yığıntı Talaş Oluşumunun İşleme Özelliklerine Etkisi, 8. Uluslararası Makine Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, s; 25-33, Ankara, 1998.
8. Liew, W.Y.H, Hutchingsand, I.M. and Williams, J.A. , The Interaction Between Tool Material Environment and Process Conditions in the Machining of Aluminum Alloys, Machining Technology, 3 (2), pp: 286- 373 UK, 1999.
9. Özçatalbaş, Y., Investigation of Machinability Behaviour of Al₄C₃, Reinforced Al Based Composite produced by Mechanical Alloying Technique, Composites Science and Technology, Vol. 63, pp: 53-61, (2003).
10. Türk Standartları, Çekme Deneyleri, TS 138/Mart 1978.
11. Carrilero, M.S. et al., A SEM and EDS insight into the BUL and BUE differences in the turning processes of AA2024 Al-Cu alloys, International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) 215-220, 2002.

M. Akif Kütük
Dr.

Nihat Yıldırım
Doç. Dr.

Gaziantep Üniversitesi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
27310 Gaziantep

Ağır Yük Düz ve Helis Dişlilerin Performans Analizi ve Profil Optimizasyonu

Günümüz dişli tasarımında, aynı gücü daha küçük ebatlardaki dişlilerle iletmeye yönelik çaba mevcuttur. Bu durum dişlilerin boyutunu küçültürken, birim yüzeye düşen yük miktarını artırmaktadır. Böylece dişli, normal bir dişli olmaktan çıkıp "ağır yük dişlisi" sınıfına girmektedir. Günümüzde bu tip düz ve helis dişliler otomotiv sanayisinde dahi kullanılmaktadır. Ancak bu dişlilerde yüksek yük sonucunda oluşan titreşim ve gürültü çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle de gemi ve tank gibi büyük kuvvetlerin söz konusu olduğu uygulamalarda titreşim ve gürültü seviyesi daha da önem kazanacaktır. Bu çalışmada "ağır yük" düz ve helis dişlilerinin performans analizleri yapılarak daha iyi sonuç için "profili optimize edilmiş helis dişli" kullanımının avantajı üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: İletim Hatası, Profil Optimizasyonu, Helis Dişli

GİRİŞ

Yüzeyleri pürüzsüz iki silindir, paralel eksenli miller üzerine monte edilip birbirine bastırıldığında, bir milden diğerine sürtünme sayesinde güç aktarımı mümkündür. Eğer silindirlerin hareketi sırasında kayma yoksa bu silindirlere hassas ve düzgün bir hareket iletimi sağlanacaktır. Bu durumda silindirler "sabit açısal hızda, düzgün hareket iletimi" üretecektir.

Yukarıdaki düzeneği, yüksek yükler altında meydana gelecek yüzeyler arası kaymadan dolayı gerçek uygulamalarda kullanmak mümkün değildir. Kayma problemini ortadan kaldırmak için düzgün güç aktarımında dişliler kullanılmaktadır. Dişli tasarımında önceleri statik yük taşıma kapasitesi göz önünde tutulurdu. Tasarım kriteri diş dibi gerilimi ve yüzey sıkıştırma gerilimi idi. Daha sonraları dişlilerin ömrünü etkileyen tek faktörün statik yük kapasitesi olmadığı buna ek olarak dinamik performansın da etkili olduğu fark edildi. Dinamik performans ile anlatılmak istenen ise yüksek hızlardaki titreşim ve bunun sonucunda oluşan dinamik diş dibi ve yüzey gerilimleridir ki bu değerler statik olanlardan çok daha yüksek olabilir [6]. Rahatsız edici seviyelerdeki gürültü ise dinamik şartların diğer bir sonucudur ve dişli kutusu seçiminde bir kriter haline gelmiştir [5]. Gürültü, titreşimin sonucu olarak ortaya çıkmaktadır. Titreşim ise birçok faktörün yanında dişliler arasında hareketin düzgün iletilmemesi sonucu oluşmaktadır.

Dişlilerin çok geniş olan kullanım alanı bu elemanların önemini de göstermektedir. Özellikle askeri araçlar, denizaltılar, tanklar, helikopterler, uzay çalışmaları, bunların yanı sıra ağır makina sanayi, ayrıca günümüzde otomotiv sektörü dahi statik ve dinamik olarak iyi çalışan dişliler

gerektirmektedir. Bu uygulamaların tümü uzun ömür ve düşük titreşim seviyesi gerekmektedir. Dişlilerin küçülmesi için mümkün olan en yüksek "güç/ağırlık" oranı ise diğer bir gereksinimdir.

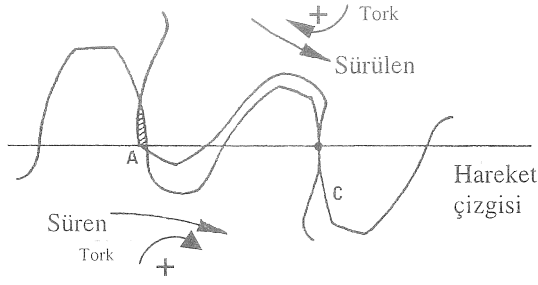
Yukarıda sayılan gereksinimler dişli tasarımında bazı kural ve amaçları ortaya çıkarır. Dişli tasarımındaki amaçlar şöyle sıralanabilir:

- Maksimum "güç/ağırlık" (aynı güçte daha küçük dişli veya dişli kutusu)
- Minimum titreşim
- Minimum gürültü
- Uzun Ömür

Dişlinin mümkün olan en küçük boyutta tasarlanması birim yüzeye düşen yük miktarını artıracaktır. Teorik olarak mükemmel üretilmiş evolvent profilli bir dişli çifti paralel miller arasında yük altında düzgün olarak hareket iletir. Fakat gerçekte hareket aşağıdaki sebeplerden dolayı düzgün iletilmeyecektir:

1. Dişlerin yük altında esnemesi
2. Dişlide veya montajda olabilecek hatalar

Dişlerin yük altında esnemesinden dolayı temas giren dişler arasında girişim, diğer bir deyişle köşe teması meydana gelir. Bu durum şekil 1'de gösterilmiştir. Dişler arasında meydana gelen girişim çarpma yüklerine sebep olur. Böylece dişler arasında hareketin düzgün iletilmesi de ortadan kalkar. Yüksek hızlarda ise bu girişim daha yüksek çarpma yüklerine ve böylece titreşim ve gürültüye sebep olacaktır.



Şekil 1. Dişlerin Yük Altında Girişimi

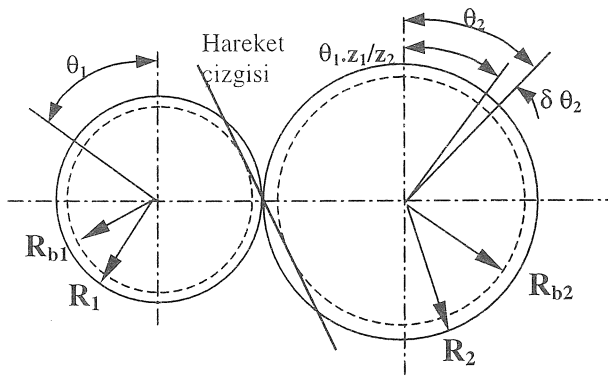
Dişlinin esnemesinden veya dişli hatalarından dolayı meydana gelen konum hatasına "iletim hatası" (Transmission Error, "TE") denir. Tanım olarak ise "sürülen dişlinin ideal şartlarda olması gereken konum ile gerçekte olduğu konum arasındaki fark" şeklinde tanımlanır. Yüksek hızlarda sorun yaratan en büyük kaynak temel olarak iletim hatasıdır (İH). İH (hareketin düzgün iletilmemesi) problemini ortadan kaldırmak için diş tepesinin uygun miktarda kırılması etkin bir çözümdür. Tepe kırmanın esas amaçları şöyle sıralanabilir: [1]

1. Tasarım yükü tabir edilen yük değeri için minimum İH elde etme;
2. Diş çifti temasının başlangıç ve bitiş bölgelerindeki girişimin, tasarım yüküne kadar tüm yük değerleri için ortadan kaldırılması.

Tepe kırma düz dişlilerde performansı artırmak için kullanıla gelen ve literatürde çok işlenmiş, esasları belirlenmiş bir konudur [1-7]

DÜZ DİŞLİ PERFORMANSI

İH, dişli hareketinin doğasından dolayı açısal birime sahiptir. Fakat genel olarak dişlilerin temel dairelerine teğet olan hareket çizgisi boyunca doğrusal bir değer olarak ifade edilir (Şekil 2).



Şekil 2. İletim Hatası Tanımı

$$\dot{IH} = R_{b2} \cdot (\theta_2 - \theta_1 \cdot \frac{Z_1}{Z_2})$$

- θ_1 , Süren Dişlinin Açısal Dönme Miktarı
- θ_2 , Sürülen Dişlinin Açısal Dönme Miktarı
- Z_1 , Süren Dişlinin Diş Sayısı
- Z_2 , Sürülen Dişlinin Diş Sayısı
- R_{b2} , Sürülen Dişlinin Temel Dairesi Yarıçapı

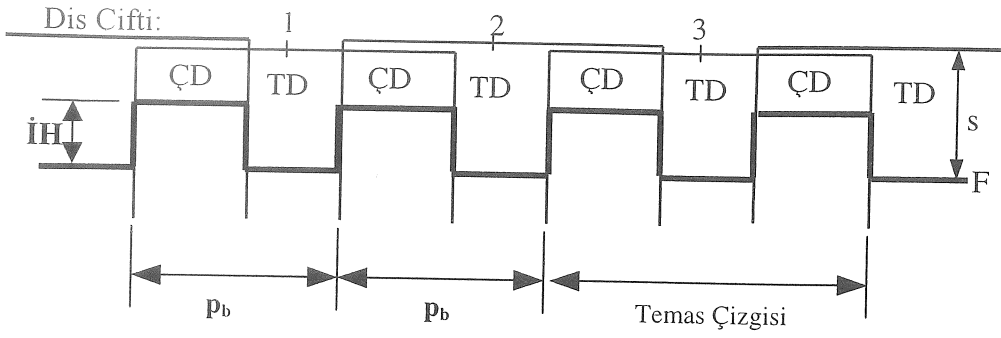
Aşağıdaki şekilde (şekil 3) üç diş çifti için İH grafiğinin elde edilişi gösterilmiştir. Şekilde, 1,2,3 no'lu diş çiftlerine, bunlara ek olarak bir önceki ve bir sonraki çiftlere ait temas çizgileri verilmiştir. Temasta olan diş sayısı tek diş (TD) ve çift diş (ÇD) arasında değiştiğinden, "F" yükü altında temastaki dişlerin esneme miktarı (s) da değişecektir. Çift diş temas bölgesinde daha az esneme (dikey yönde) olurken tek diş temas bölgesinde aynı yük altında çift diş temas bölgesinin yaklaşık olarak 2 katı esneme oluşmaktadır. Bu değişim ise İH sorununu oluşturmaktadır. Şekil 3, temas oranı 1'den büyük, 2'den küçük düz dişliler için geçerlidir. Şekilde de görüldüğü gibi İH esas olarak temas halindeki diş sayısının değişimi ile ortaya çıkmaktadır.

İH grafiğinin dalga yüksekliği dişlinin gürültüsünde, titreşiminde, dolayısıyla performansında belirleyici özelliğe sahiptir. Birim yüzeydeki yük miktarı arttığında dalga yüksekliği de artacağından, özellikle ağır yük dişlilerinde ($F > 200$ N/mm) İH çözülmesi gereken bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

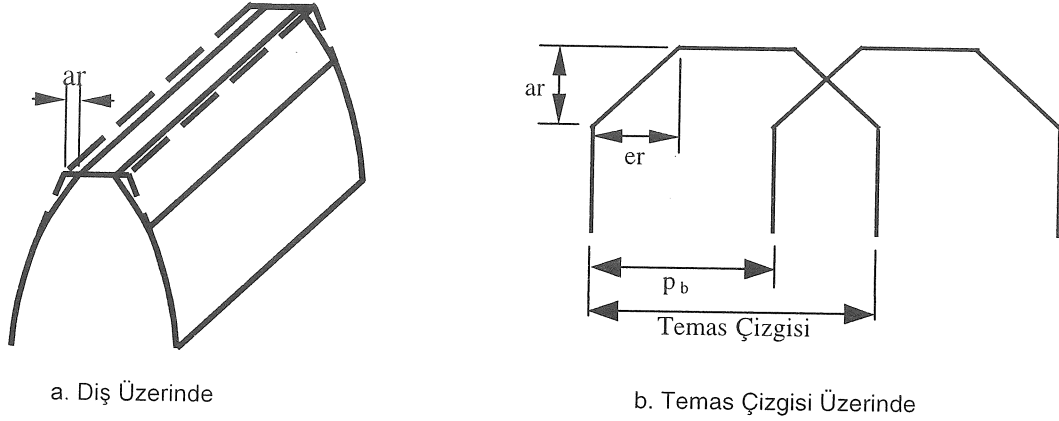
Şekil 4'te İH probleminin çözümü için tepe kırmanın (profil optimizasyonu) parametreleri olan kırma miktarı (amount of relief "ar") ve kırma uzunluğu (extent of relief "er") gösterilmiştir. Bu iki parametrenin değerleri düz dişliler için şu şekilde formüle edilmiştir: $ar = F_d/k$ $er = lc - p_b$

- F_d , Tasarım Yükü (N/mm)
- k , peklik ([N/mm]/mikron)
- lc , temas çizgisi uzunluğu (mm)
- p_b , temel dairesi taksimatı (base pitch)

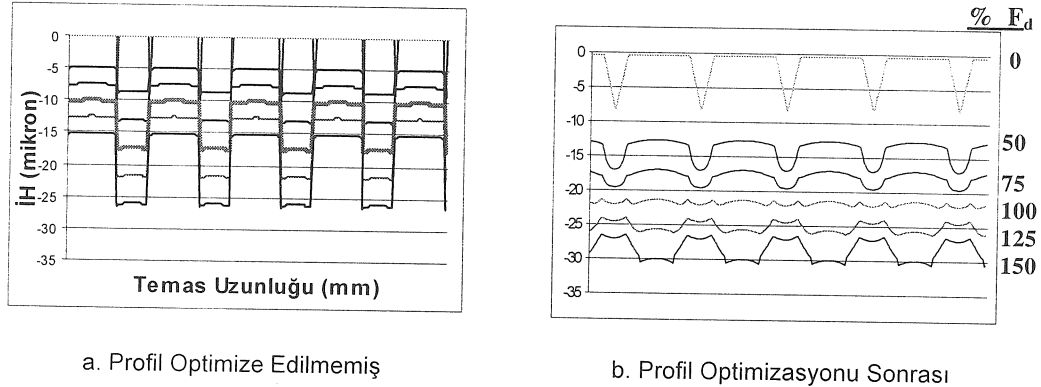
Bu tanımlardan hareketle, 1.60 temas oranında (65/65 dişli oranı, 4 mm modül, 250 N/mm yük altında) standart bir dişli çiftinin performans analizleri diğer çalışmalarda [1,2] geliştirilen simülasyon programı kullanılarak yapılmıştır. Şekil 5'te, dişli çiftinin profil düzeltilmesi öncesi ve sonrasında ürettiği İH grafikleri verilmiştir. Profil düzeltme öncesi yüksek olan tasarım yükündeki dalga yüksekliği, profil düzeltme sonrasında önemli oranda azalmıştır. Bu durum sonuç olarak daha az titreşim ve gürültü demektir.



Şekil 3. Diş Çiftleri (3 adet) için İH Grafiği



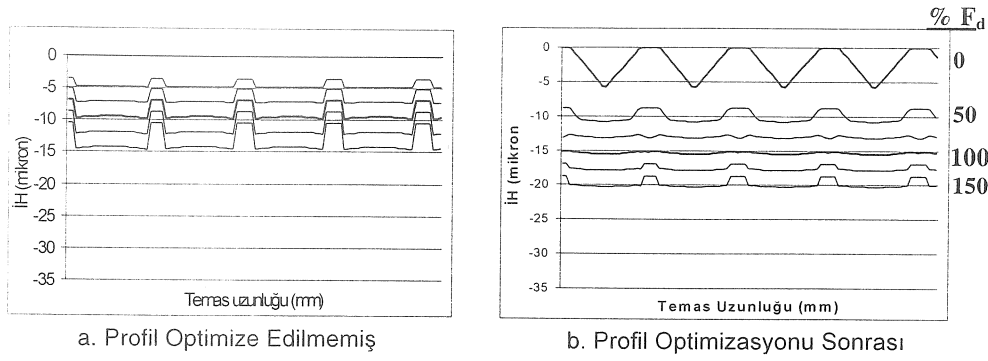
Şekil 4. ar ve er Parametrelerinin Gösterimi



Şekil 5. Profil Optimizasyonunun Düz Dişli Üzerindeki Etkisi

Daha hassas uygulamalarda ise temas oranı 2.0 üzerinde olan "yüksek temas oranlı" (high contact ratio "HCR") ve profil düzeltilmiş düz dişliler tavsiye edilmiştir [7]. Profil düzeltilmiş HCR (alın temas oranı 2.2) dişli çiftine ait İH grafikleri şekil 6'da verilmiştir.

Şekil 5 ile şekil 6 karşılaştırıldığında HCR dişlilerin çok daha iyi performans değerine ulaştığı açıkça görülmektedir. Özellikle profil optimizasyonu sonrasında HCR dişlide İH miktarı, düşük temas oranlı dişlilere göre sıfır değerine daha çok yaklaşmaktadır.



Şekil 6. HCR Dişli için İH Grafikleri [7]

DÜZ VE HELİS DİŞLİLERİN PERFORMANS KARŞILAŞTIRMASI

Düz dişlilerin tasarım ve üretimi daha kolay olduğu için, paralel miller arası hareket iletiminde genellikle tercih edilirler. Fakat yüksek temas oranı, daha fazla dayanım, daha az gürültü ve düzgün hareket iletimi gibi ihtiyaçların olduğu uygulamalarda helis dişliler tercih edilir.

Helis dişli çiftinde yük aktarımı sırasında, yük dişe kademeli olarak yüklenir. Kademeli yüklemenin sonucu olarak düz dişliye göre daha düzgün bir çalışma, daha fazla yük taşıma kabiliyeti ve daha az gürültü elde edilir. Helis dişlilerin tersine düz dişlilerde tüm yüzey aynı anda temasa geçer. Böylece, üretim kalitesi, yağlama gibi faktörler aynı olsa da helis dişliler düz dişlilere göre daha düzgün ve sessiz çalışırlar. Tüm bu sebeplerden dolayı, yüksek hız ve/veya ağır yük uygulamalarında helis dişliler tercih edilir. Fakat düz dişli profil optimizasyonundaki yenilikler, özellikle de HCR dişlilerde, dinamik performansı, sistemde eksensel yükler olmadan, helis dişlilerin seviyesine çekmiştir [7].

Şekil 7'de düz ve helis dişlilerin performanslarını karşılaştırmak amacıyla İH grafikleri verilmiştir. Her iki dişli çifti de aynı alın temas oranına (ATO=1.6), helis dişli ise 0.4 yüzey temas oranına (YTO) sahiptir. Şekilde görüldüğü üzere, helis dişli kullanmanın avantajı, dişliler arasında yumuşak geçişlerdir; ki bu durum çalışma esnasında daha az çarpma yükleri demektir. Şekilde düz ve helis dişliler için, tasarım yükünde, yakın İH değerleri elde edilmiştir. Ancak grafikler incelendiğinde, dişler üzerinde ani yük değişimi olmaması açısından, helis dişli kullanımı daha avantajlıdır. Bu avantaja rağmen yüksek İH değeri, yüksek hızlarda sorun olmaya devam edecektir.

Yüksek performans gerektiren uygulamalarda ise tasarımcının alternatifleri helis dişli ve profil düzeltilmiş düz dişli olabilir. Şekil 8'de şekil 5.b'deki düz dişli, profil optimizasyonu sonrasında helis dişli

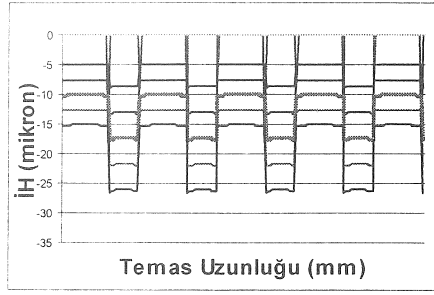
(YTO=0.8) ile karşılaştırılmıştır. Şekil 8'de görüleceği üzere, düzeltilmiş düz dişlinin tasarım yükünde İH değeri $1 \mu\text{m}$ 'un altındadır. Helis dişlide ise bu değer $2.2 \mu\text{m}$ 'dır. Düz dişliye profil optimizasyonu uygulaması, tasarım yükündeki performansını düzeltilmemiş helis dişliden daha iyi bir değere taşımıştır.

Şekil 9'da profil optimizasyonu uygulamasının değişik alın temas oranındaki düz dişliler üzerindeki etkisi verilmiştir. Optimize edilmemiş dişliler için alın temas oranı tam sayıya ulaştığında İH değeri çok önemli oranda düşmektedir. Profil optimizasyonu sonrasında ise hemen tüm temas oranları için düşük İH değeri elde etmek mümkün olmaktadır.

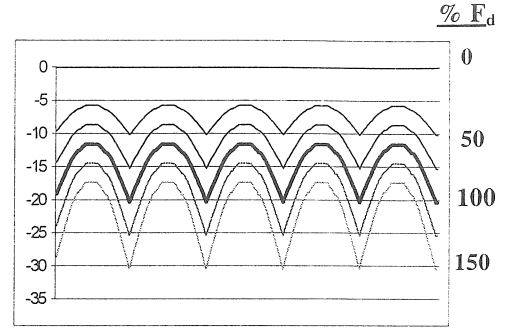
HELİS DİŞLİ PROFİL OPTİMİZASYONU

Helis dişlilerde, düz dişliye kıyasla, hareketin doğasından dolayı oluşan daha düzgün çalışma, profil optimizasyonu sonrasında çok daha iyi değerlere taşınabilir. Bu konuda dünya genelinde bir çok araştırmacı [3-5] çalışmaktadır, ancak hareketin karmaşıklığından dolayı, henüz, düz dişlilerde olduğu gibi bir profil düzeltme formülü veya genel bir kural elde edilememiştir. Önceki bölümlerde verilen düz dişli İH grafik ve optimizasyon sonuçları ile aşağıda verilecek helis dişli analiz ve optimizasyon sonuçları ise başka bir çalışma [2] sırasında geliştirilen yazılıma aittir.

Paralel miller arasında "sabit açısal hızda, düzgün hareket iletimi" için düz dişli profillerinde yapılan düzeltmeler, özellikle de HCR düz dişlilerde çok düşük İH değerleri ile sonuçlanmaktadır (şekil 6.b). Şekil 5.b ve 6.b incelendiğinde ise profil düzeltmenin tasarım yükünde çok etkili olduğu, ancak özellikle yüksüz çalışma esnasında ve tasarım yükü dışındaki yük değerlerinde, İH'nın yüksek değerlere ulaşabildiği görülmektedir. Bu noktada helis dişlilerin profil optimizasyonu sonrasında ideal hareket iletimine daha çok yaklaşabileceği düşünülmelidir.

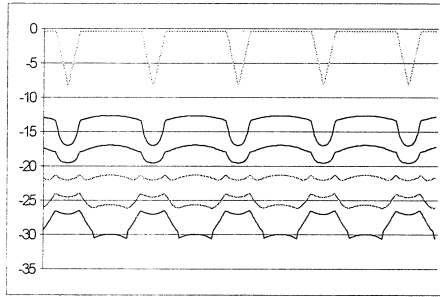


a) Düz Dişli (ATO=1.6)

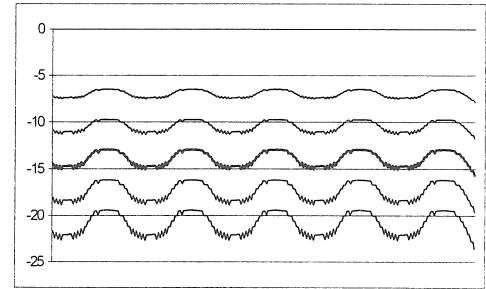


b) Helis Dişli (ATO=1.6, YTO=0.4)

Şekil 7. Helis dişli ile Düz dişlinin Performans karşılaştırması

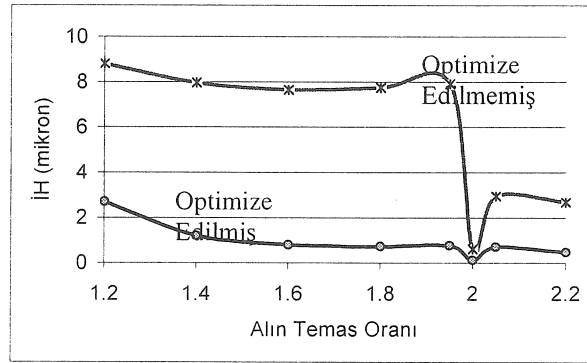


a. Profil Optimizasyonu Yapılmış Düz Dişli



b. Profil Optimize Edilmemiş Helis Dişli

Şekil 8. Doğal Helis dişli ile Profil Düzeltilmiş Düz dişlinin Performans karşılaştırması



Şekil 9. Farklı Alın Temas Oranları İçin Profil Optimizasyonunun Düz Dişli Üzerindeki Etkisi

Şekil 10'da, 1.6 alın temas oranına, 0.8 yüzey temas oranına sahip bir helis dişli çifti için, profil optimizasyonu öncesi ve sonrasına ait İH grafikleri verilmiştir.

Şekil 10.b'de, tasarım yükünde İH grafiğinin yaklaşık olarak çizgisel olduğu görülmektedir, grafiğin dalga yüksekliği 0.5 mikronun dahi altına (0.1 mikron) inmiştir. Grafik incelendiğinde, sürtülen dişlinin, süren dişliyi 20 mikron gecikmeyle,

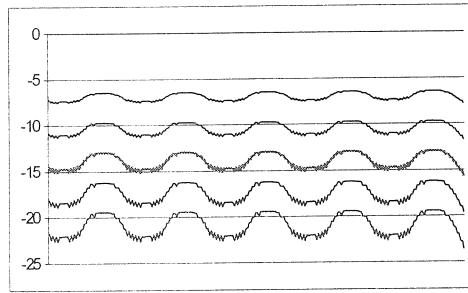
titreşimsiz, düzgün bir hareketle takip edeceği görülecektir. Yani "sabit açısal hızda, düzgün hareket iletimi" profil düzeltilmiş helis dişlide, tasarım yük değeri için geçerli hale gelmiştir. Diğer yük değerleri için değişimin çok yumuşak olduğu eğriler gözlenmektedir. % 75-125 yük aralığı için ise değişimin yumuşaklığı yanında dalga yüksekliği değerinin (İH) düşüklüğü de dikkat çeken diğer bir noktadır.

Helis dişlilerde profil optimizasyonunun etkilerini daha iyi ve genel olarak görebilmek için şekil 11'de, alın ve yüzey temas oranlarıyla İH değerinin, optimizasyon öncesi ve sonrası değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 11.a'daki farklı temas oranları için gösterilen 36 farklı nokta için ayrı ayrı optimizasyon değerleri belirlenip kullanılarak 11.b elde edilmiştir. Şekli oluşturmak için kullanılan yük miktarı 250 N/mm'dir. Yükün artmasıyla şekil 11.a daha yüksek değerlere ulaşacaktır ancak Şekil 11.b, yük değerine göre profil optimize edildiğinden çok fazla değişim göstermeyecektir.

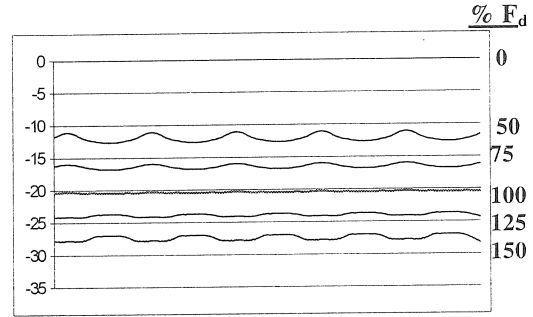
Şekil 11.a incelendiğinde, literatürde kabul görmüş olan "tam sayı temas oranı kullanma" avantajı açık şekilde doğrulanmaktadır. Alın temas oranının 2.0 değerinde tutulması İH değerini tüm yüzey temas oranları için en düşük değerine getirmektedir. Yüzey temas oranının 1.0 değerinde tutulması ise tüm alın temas oranları için en düşük İH

değerini vermektedir. Her iki değer de tam sayıda tutulması ise (YTO=2.0, ATO=1.0) 'profil optimizasyonu yapılmadan' mümkün olabilecek en düşük İH değeri ile sonuçlanacaktır. Ancak, gerek tasarım şartlarından, gerekse imalat ve montaj hatalarından dolayı tam olarak "tam sayı temas oranı" elde etmek uygulamada güçtür. Diğer temas oranlarında tasarlanmış dişlilerde "uygun miktardaki" profil optimizasyonu sonrasında şekil 11.b'de verilen İH değerlerini elde etmek mümkündür. Şekilde, alın temas oranı 1.4'ten, yüzey temas oranı 0.4'ten büyük olan dişli çiftleri için, profil optimizasyonu sonrasında, İH değerleri 0.2 mikronun dahi altına inmiştir.

Şekil 11.b, uygun profil optimizasyonu sonrasında, 'profil optimize edilmiş helis dişliler' ile paralel miller arasında "sabit açılarda, düzgün hareket iletimi"ne yaklaşmanın mümkün olduğunu göstermektedir.

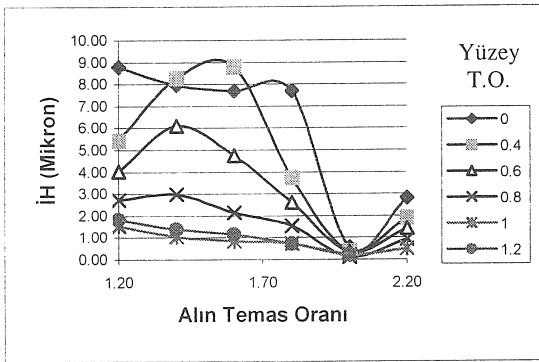


a. Profil Optimize Edilmemiş

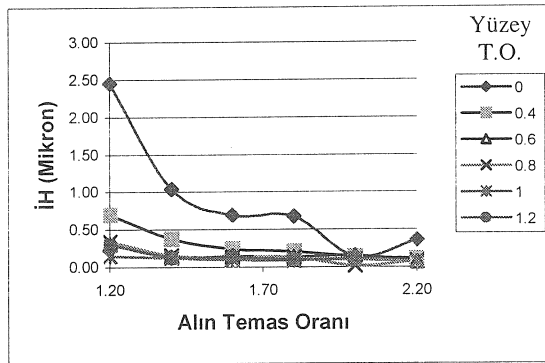


b. Profil Optimizasyonu Sonrası

Şekil 10. Helis Dişli için İH Grafikleri



a. Profil Optimize Edilmemiş



b. Profil Optimizasyonu Sonrası

Şekil 11. Alın ve Yüzey Temas Oranlarıyla İH Değişimi

SONUÇ

Bu çalışmada, askeri araçlarda (gemi, denizaltı, tank, helikopter) ve sivil hayatta (otomotiv, türbin, vb.) ağır yük uygulamalarında kullanılan düz ve helis dişlilerde dişin yük altında esnemesinden dolayı ortaya çıkan İH (iletim hatası) üzerinde durulmuştur. Çünkü, İH dişlilerde kabul görmüş olan bir performans göstergesidir ve dişlinin performansı ters orantılıdır.

İletim hatası problemine çözüm olarak tepe kırma (profil optimizasyonu) üzerinde durulmuş ve tepe kırmanın performans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Literatürde bu işlem için önerilen formüller de kullanılarak düz dişlilerde profil optimizasyonunun İH'nı tasarım yükünde önemli oranda azalttığı doğrulanmıştır. Daha hassas uygulamalarda ise profili optimize edilmiş helis dişli kullanmanın "ideal hareket iletimi"ne daha uygun bir seçim olacağı gösterilmiştir.

PERFORMANCE ANALYSIS AND PROFILE OPTIMIZATION OF HEAVY DUTY SPUR AND HELICAL GEARS

Gearing design has a long running attempt to transmit same power by the use of smaller gears. The attempt increases the load per unit face width while decreasing the size of the gear. Hence, the gear pair becomes a "heavy duty gear". Such gears are being used even in automotive industry. However, the noise and vibration in these gears appear to be a problem to overcome. Especially for the applications like ship or tank, the level of vibration and noise will be more important. In the present work, performance analyses for spur and helical gear are presented and "profile modified helical gears" are proposed for better performance.

Keywords: Transmission Error, Profile Optimization, Helical Gear

KAYNAKLAR

1. Kütük, M.A., *Computer Aided Design of Helical Gear Teeth Profile For Optimum Motion Transfer*, Yüksek Lisans Tezi, (1997) Gaziantep Üniversitesi, Makina Müh. Böl.
2. Kütük, M.A., *A Theoretical Research Into Effects of Tooth Profile and Assembly Errors on the Helical Gear Performance*, (2003), Doktora Tezi, Gaziantep Üniversitesi, Makina Müh. Böl.
3. Litvin, F.L., Kim, D.H., Computerized Design, Generation and Simulation of Meshing Involute Spur Gears with Localized Bearing Contact and reduced Level of Transmission Error, *Journal of Mechanical Design*, 119, (1997), 96-100
4. Munro, R.G., Morrish, L., Palmer, D., Gear Transmission Error Outside the Normal Path of Contact Due to Corner and Tip Contact, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 213C, (1999), pp: 389
5. Smith, J.D., Helical Gear Vibration Excitation With Misalignment, *Journal of Mechanical Engineering Science*, 208, (1994), 71-79.
6. Yıldırım, N., Munro, R.G., A new type of relief for High Contact Ratio Spur Gears, *Proc. Instn Mech Engrs*, 213 C, (1999), 563-568.
7. Yıldırım, N., Munro, R.G., A Systematic Approach to Profile Relief Design of LCR And HCR Spur Gears, *Proc. Instn Mech Engrs*, 213 C, (1999), 551-562.

3. Uluslararası Kalıp, Model Tasarımı, Üretimi Konferansı ve Sergisi ile 7. Uluslararası Aşındırma Teknolojilerindeki Gelişmeler Sempozyumu

İlki 1997 yılı Haziran ayında İstanbul'da gerçekleştirilen Uluslararası Kalıp ve Model Tasarımı ve Üretimi Konferansı'nın ikincisi 21-23 Haziran 2001 tarihleri arasında Kuşadası'nda yapıldı. Üçüncü konferans ise 17-19 Haziran 2004 tarihlerinde Bursa'da düzenlenecektir. Ancak bu konferans ile birlikte Japonlar tarafından düzenlenen Yedinci Uluslararası Aşındırma Teknolojilerindeki Gelişmeler Sempozyumunu da gerçekleştirilecektir. Öncekilerinde olduğu gibi bu konferansla birlikte uluslararası katılımcıların yer alacağı bir sergi de düzenlenecektir.

Uluslararası İmalat Mühendisliği Araştırmaları Enstitüsü (CIRP), Makina Tasarım ve İmalat Derneği (MATİM) ve ODTÜ tarafından ortaklaşa gerçekleştirilen konferans ile, değişik ülkelerden dallarında uzmanlar, üniversite ve endüstri, kalıp ve model tasarım ve imalatındaki deneyimlerini aktarmaları için bir araya getiriliyor. Konferans tasarım yöntemleri, takım tasarımları, makina teknikleri, üretim, ölçüm sistemleri ve CAD/CAM/ROBOTİK uygulamaları hakkında bir tartışma platformu oluşturmayı amaçlıyor.

Konferansta yer alacak başlıklar: Bilgisayar Destekli Tasarım Yöntemleri, Bilgisayar Destekli Ölçüm ve Kalite Kontrol Sistemleri, Kalıp ve Model İşlenmesinde CNC Sistemleri, Sayısallaştırma ve Modelleme, Kalıp/Model Tasarımında Üretim Aşamalarının Simülasyonu, Kalıba Döküm ile Şekil Verme, Metal Şekillendirme, Yeni Ürünler, Perdahlama/Polisaj Teknikleri. Sert Malzemelerin İşlenmesi, Kalıp/Modellerin Yüksek Hızda Frezlenmesi, Kalıp/Modellerin Elektro Erezyon ile İşlenmesi ve ilgili başka konulara da yer verilecektir. Yedinci Uluslararası Aşındırma Teknolojilerindeki Gelişmeler Sempozyumu ise, Aşındırma Yöntemleri, Yüksek Hızda İşlemler, Mikro ve Nano İmalat, Taşlama, Yüzey İşleme Teknolojileri, ve Kırılgan Malzemelerin İşlenmesi gibi yeni gelişen teknolojileri içermektedir.

Başkanlığını ODTÜ'den Prof. Dr. Bilgin Kaftanoğlu'nun yapacağı konferansta Başkan Yardımcıları ODTÜ'den Prof. Dr. M. A. Sahir Arıkan ve Japonya'dan Prof. Dr. Junichi Tamaki olacak. Konferansa katılmak, bildiri sunmak, sergide yer almak ve bilgi almak için aşağıdaki web-sitesini kullanabilirsiniz:

www.diemold-isaat.org

Kayıtlar ve her türlü işlem web-sitemizdeki başvuru formu aracılığı ile "on-line" olarak yapılmaktadır. Başvurular için gereken tarihler bu sitede belirtilmiştir.

Kongremize konu ile ilgili üniversite ve sanayi mensuplarımızı bekler ve bu alanda ülkemizin gelişmesine katkıda bulunacağımızı ümit ederiz.

Saygılarımızla,

Prof.Dr. Bilgin Kaftanoğlu
Kongre Başkanı
Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
ANKARA, 06531
Tel: + 90 312 210 25 74
e-mail: info@diemold-isaat.org

3rd INTERNATIONAL CONFERENCE
and EXHIBITION on DESIGN
and PRODUCTION of

DIES AND MOLDS

7th INTERNATIONAL SYMPOSIUM
on ADVANCES in ABRASIVE
TECHNOLOGY

ISAAT 2004

17-19 JUNE 2004 - International Holiday Courts KERVANSARAY Thermal THERMAL HOTEL - BURSA, TURKEY

Organising Committee

CHAIRMAN: Prof. Dr. Bilgin KAFTANOĞLU, METU, Turkey
CO - CHAIRMAN (DIES AND MOLDS): Prof. Dr. M. A. Sahir ARIKAN, METU, Turkey
CO - CHAIRMAN (ISAAT 2004): Prof. Dr. Jun'ichi TAMAKI, Kitami Institute of Technology, Japan
GENERAL SECRETARY: Prof. Dr. Tuna BALKAN, METU, Turkey
Prof. Dr. Metin AKKÖK, METU, Turkey
Prof. Dr. Taylan ALTAN, Ohio State University, USA
Prof. Dr. Yusuf ALTINTAŞ, University of British Columbia, Canada
Prof. Dr. Haluk DARENDELİLER, METU, Turkey

METU - Middle East Technical University, Ankara, Turkey - www.metu.edu.tr

Deadlines

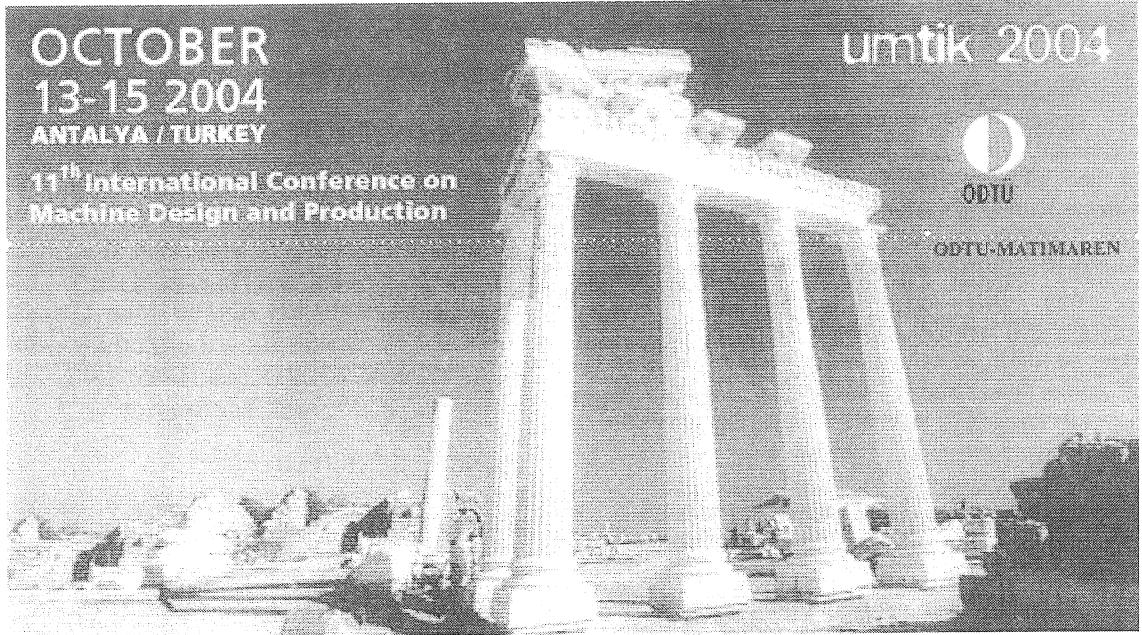
November 10, 2003 Submission of Abstracts
December 12, 2003 Notification of Preliminary Acceptance
February 23, 2004 Submission of Camera-Ready Manuscripts
April 6, 2004 Notification of Final Acceptance of Papers

www.diemold-isaat.org
JOINT CONFERENCES

11. Uluslararası Makina Tasarım ve İmalat Kongresi

13-15 Ekim 2004

Antalya / Türkiye



Organizasyon Komitesi ODTÜ-MATİMAREN adına 13-15 Ekim 2003 tarihinde Antalya'da düzenlenecek olan 11. UMTİK Konferans ve Sergisine destek ve katkılarınızı beklemektedir. Kongre, dünyada tasarım ve imalat konularındaki araştırmaların tartışılacağı ve sorunlara çözüm aranacağı bir ortam oluşturmayı amaçlamaktadır. UMTİK 2004 organizasyon komitesi tasarım ve imalat konularında çalışan araştırmacıları, uzmanları ve mühendisleri bu konferansa davet eder.

UMTİK Kongrelerinin bildiri listesi UMTİK web sayfasından görülebilir. Kongrede Türkçe ve İngilizce bildirimler ayrı oturumlarda düzenlenmekte ve çeviri yapılmamaktadır.

KAPSAM

- İleri Tasarım ve Üretim Teknikleri
- Yeni Üretim Yöntem ve Araçları
- Makina Tasarım ve Uygulama Örnekleri
- Mühendislik Tasarım Modelleri

- Makina Elemanları ve Mekanik Sistemlerin Tasarımı, Modellenmesi ve Analizi
- MEMS'in Mekanik Tasarımı ve Üretimi
- Üretim Sistemlerinin Modellenmesi ve Simulasyonu
- Bilgisayar Yardımıyla Tasarım ve İmalat
- Bilgisayar Tümlü İmalat Sistemleri
- Esnek ve Dağıtık İmalat Sistemleri
- Makina Tasarım ve İmalatında Akıllı Sistemler
- Makina Tasarım ve İmalatı alanında benzer konular

TARİHLER

Bildirilerin tam metinlerinin düzenleme kuruluna ulaşması 16 Nisan 2004 Bildiri değerlendirme sonuçlarının yazarlara bildirilmesi 31 Mayıs 2004 Kayıtlar için son tarih 1 Temmuz 2004 Kongre Programının duyurulması 1 Ağustos 2004 Bildirilerin son şekli verilmiş tam metinlerinin düzenleme kuruluna ulaşması 1 Eylül 2004

BİLDİRİLER

Yazarların aşağıdaki bilgilerle birlikte bildirimlerinin tam metnini göndermeleri gerekmektedir.

- UMTİK 2004 İnternet sitesinde verilen formata göre hazırlanmış bildirim tam metni,
- Yazışmaları yürüten yazarın adresi, telefon ve faks numaraları ile e-mail adresi.

Gelen her bildiri içerik ve şekil olarak UMTİK Düzenleme Kurulunun koordinasyonu ile uluslararası Hakem Kurulu ve Editörler tarafından değerlendirilecek ve sonuçlar yazarlara bildirilecektir. Bildirileri kabul edilen yazarlara bildirimlerine son şeklini vermeleri için ve kongre kayıtları ile ilgili ek bilgi gönderilecektir. Bildirisi kabul edilen tüm bildiri yazarlarının bildirimlerini bildirimlerini kongrede sunmaları veya sunulmasını sağlamaları gerekmektedir. Tüm bildirimler CD-ROM formatında bildiri kitabında basılacaktır.

Tüm yazışmalar ve bildirimlerin gönderilmesi elektronik posta (e-mail) ve İnternet ortamında yapılacaktır.

Hakem ve editörler kurulu bildiri kitabında verilecektir.

KONAKLAMA

Kongre Antalya'da Resort Dedeman Antalya Otelinde yapılacaktır. Havaalanı'na 15 km, şehir merkezine 3 km uzaklıkta, Dedeman Aquapark Antalya'nın yanında ve Dedeman Park Bowling Antalya'nın karşısında konumlanmış olan Resort Dedeman Antalya Otelinin toplam 483 odası (Akdeniz manzaralı 375, bahçe manzaralı 108. Odaların 17'si senior, 18'i junior ve 1'i presidential süit) bulunmaktadır. Odalarda; merkezi ısıtma-soğutma, direkt telefon, minibar, TV, saç kurutma makinesi, elektronik kasa, oda servisi, internet erişimi mevcuttur. Resort Dedeman Antalya Otel ile ilgili daha fazla bilgiye www.umtik2004.org internet adresinden ulaşabilirsiniz.

Bu otelde kahvaltı dahil gecelik konaklama ücreti tek kişilik oda için 60.-Euro, çift kişilik oda için 74.-Euro'dur. Konaklama Formuna www.umtik2004.org internet adresinden ulaşabilirsiniz.

SERGI

Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Konularında çalışan, veya bu endüstri kesimine hizmet veren kuruluşların ürün ve hizmetlerini tanıtmaları için bir sergi düzenlenmiştir. İlgilenen firmaların UMTİK Kongre Sekreterliğine başvurmaları gerekmektedir.

DÜZENLEME KURULU

Metin AKKÖK (ODTÜ, Mak. Müh. Böl.)
akkok@metu.edu.tr

Abdülkadir ERDEN (Atılım Üniv., Mekatronik Böl.)
erden@metu.edu.tr

S. Engin KILIÇ (ODTÜ, Mak. Müh. Böl.)
engink@metu.edu.tr

İlham KONUKSEVEN (ODTÜ, Mak. Müh. Böl.)
konuk@metu.edu.tr

Ergin TÖNÜK (ODTÜ, Mak. Müh. Böl.)
tonuk@metu.edu.tr

KONGRE SEKRETERYASI

Kongre Kaydı, Sergi ve Konaklama ile ilgili tüm bilgiler için :

DEKON Kongre & Tourism

Yıldız Posta Cad. No:52/1

Esentepe/İSTANBUL

Tel: 0212 274 93 30

Fax: 0212 266 10 76

www.dekon.com.tr

KAYIT

Kongre'ye Türkiye'den Katılım ücreti 1 Temmuz 2004 tarihine kadar 100.-Euro'dur. Bu tarihten sonra kayıt ücreti 150.-Euro'dur. Bu ücrete bildirimleri içeren CD, kokteyl, kahve molaları, öğle yemekleri ve kongre gala yemeği dahildir.

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

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

4-6 Ocak 2004
Cairo, Egypt

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

14th International Collogium on
Tribology

13-15 Ocak 2004
Stuttgart/ostfildern,
Germany

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

Tribological, Wear, and Erosion
Coatings

25-30 Ocak 2004
Florida, USA

K. Miyoshi, NASA Glenn Research Centre, Ohio, USA;
E-mail: Kazuhiisa.Miyoshi@grc.nasa.gov ;
Website: <http://www.ccramics.org> (online Conference
Management System).

Tribology 2004, 8th International
Tribology Conference:
Understanding Friction,
Lubrication and Wear

24-26 Mart 2004
Pretoria, South Africa

Mrs. Gillian Fil, er Secretary, SATI, PO Box 1240, Kelvin
2054, South Africa.
Tel: 27-11-802-5145
Fax: +27-11-804-3484 or 804-4972
E-mail: seeretary@sait.org.za ;
Website: <http://www.sait.org.za>

Fifth International Conference on
Integrated Design and
Manufacturing in mechanical
Engineering (IDMME, 2004)

5-7 Nisan 2004
University of Bath, UK

Miss Angela K. Harrington, Conference Secretary, Departmet of
Engineering and Applied Science, University of Bath, Banth
BA2 7AY, UK
Tel : +44(0) 1225 386196
Fax: +44(0) 1225 386098
E-mail: idmme04@bath.ac.uk
Internet: <http://IDMME04.bath.ac.uk>

Fifth International Symposium on
Tools and Methods of
Competitive Engineering (TMCE
2004)

12-16 Nisan 2004
Lausanne, Switzerland

Dr dimitris Kiritsis, TMCE 2004 Lausanne Secretariat, LICP-
ICAP-DGM, EPFL, CH-1015 Lausanne, Switzerland
Fax: +41-21-693 3553
E-mail: dimitris.kiritsis@epfl.ch
Internet: <http://dutoce.10.tudelft.nl/~jouke/tmce2004/>

7th CIRP International Workshop
on Modeling of Machining
Operations

4-5 Mayıs, 2004
Cluny, France

CIRP Workshop Secretariat Nathalie Poulachon Laroche
ENSAM Rue porte de Paris 71250 Cluny, France

4th International Symposium on
Fretting-Fatigue (ISFF4)

26-28 Mayıs 2004
Ecully, France

ISFF4, LTDS, Ecole Central de Lyon, 36 Avenue Guy de
Collongue, 69 134 Ecully Cedex, France.
Tel : +33 (0) 4 72 18 62 74
Fax : +33 (0) 4 78 43 33 83
E-mail : isff4@ec-lyon.fr

ICTMP 2004
2nd Int. Confeterce on Tribology
in Manufacturing Processes

16-18 Haziran 2004
Nyborg, Denmark

Conference Seeretary, ICTMP2004 Att: Mrs. Pia Holst
Nielsen, Department of Manufacturing Engineering and
Management, Technical University of Denmark.
Tel: +45 45 25 47 63;
Fax: +45 45 93 01 90
E-mail: ICYMP2004@ipl.dtu.dk
Website: ww.ICTMP2004.dk

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

- III International Conference on Advances in Production Engineering (APE'04) 17-19 Haziran 2004
Warsaw, Poland
L. Dabrowski, Warsaw University of Technology, Narbutta 85, 02-524 Warsaw, Poland
Fax: +48 22 8490 285
E-mail: ape2004@meil.pw.edu.pl
- NORDTRIB 2004 23-27 Haziran 2004
Northern Norway
PROFESSOR Kristian Tonder, IMM, NTNU, N-7491
Trondheim, Norway.
Tel: +47-73592893
Fax: +47 -73594129
E-mail: kristian.tonder@immtek.ntnu.no
- 34th International MATADOR Conference 7-9 Temmuz 2004
University of Manchester
Institute of Science and Technology (UMIST)
Manchester United Kingdom
Mrs C Collins The Organisin Secretary Manufacturing Division
University of Manchester Institute of Science and technology
(UMIST) PO Box 88, Sackville Sreet, Manchester M60 1QD
United Kingdom
Tel: +44 (0) 161 200 3817
Fax: +44 (0) 161 200 4166/3803
E-mail: chris.collings@umist.ac.uk
Web: <http://www.me.umist.ac.uk/matador.htm>
- This is the First Announcement of CMES-04, An International Symposium 14-16 Temmuz 2004
Nigde-Türkiye
Dr.Menderes Kalkat and Dr.Adnan MIDILLI
On behalf of the Organizing Committee
Corresponding E-addresses:
cmes-04@cmes.nigde.edu.tr
cmes-04@nigde.edu.tr
- The First Cappadocia International Mechanical Engineering Symposium 14-16 Temmuz 2004
Kapadokya
Urgup/Perissia Hotel
Türkiye
Dr. Menderes Kalkat and Dr. Adnan MIDILLI
On behalf of the Organizing Committee
cmes-04@nigde.edu.tr (also available)
cmes-04@cmes.nigde.edu.tr
mkalkat@nigde.edu.tr (for contact)
midilli@nigde.edu.tr (for contact)
midillian@yahoo.com (for contact)
cmes_04@yahoo.com (also available)
- The Second Announcement for CMES-04, An International Symposium. 14 -16 Temmuz 2004
Kapadokya-Ürgüp-
Göreme, Türkiye
Dr. Menderes Kalkat and Dr. Adnan MIDILLI
On behalf of the Organizing Committee
cmes-04@cmes.nigde.edu.tr
cmes-04@nigde.edu.tr
- Symposium on Virtual Tribology WCCMVI and Asia-Pacific Congress on Computational mechanics 5-10 Eylül 2004
Beijing, China
Professor Jane Wang, Department of Mechanical Engineering,
Northwestern University, 2145 Sheridan Road, Evanston, IL
60208, USA. +1-847-467-7150
E-mail: qwang@northwestern.edu
- Visitations in Rotating Machinery Conference 7-9 Eylül 2004
University of Wales,
Swansea, UK
Alison Payton, Tribology Group, Institution of Mechanical
Engineer, 1 Birdcage Walk, London SW1H 9JJ, UK
Tel: +44(0) 20 7304 68 29
E-mail: a_payton@imech.org.uk
- Long Term Prediction and Modelling Corrosion (EUROCORR 2004) 12-18 Eylül 2004
Nice, France
CEFRACOR, 28 rue Saint-Dominique. F-75007 PARIS, France.
Tel : +33 (0) 1 47 05 39 26
Fax : +33 (0) 1 45 55 90 74
E-mail : eurocorr2004@scifrance.org.

KONGRE ADI**TARİH****YAZIŞMA ADRESİ**

EUROCORR 2004

12-18 Eylül 2004
Nice, FranceCEFRACOR, Commission Tribocorrosion – Eurocorr 2004, 28
ruc Saint Dominique, F-75007 Paris, France.
E-mail: pponthia@ccp.frInternational Tribology
Conference Kobe 200529 Mayıs 2 Haziran 2005
JapanProfessor Y. Kimura, Vice President, Kagawa University, 1-1
Saiwai-cho Takamatsu 760-8521. Japan.
Tel/Fax: +81(0) 87 832 1669
e-mail: ykimura@ao.kagawa-u.ac.jpFirst Announcement
ICF 11
11th International Conference on
Fracture20-25 Mart 2005
Turin, ITALY,For more detail information, please refer to the web site
<http://www.icf11.com> or contact
Professor Alberto Carpinteri ICF11 Chairman
c/o Centro Congressi Internazionale s.r.l.
Via Cervino, 60 - 10155 Torino, ITALY
Tel. + 39 011 2446911 - Fax + 39 011 2446900
E-mail: info@congressiefiere.com

World Tribology Congress 2005

12-16 Eylül 2005
Washington, DC, USAMr. Edward Selek, 840 Busse Highway, Park Ridge, IL 60068-
2376, USA.
Tel: +847 825 5536
e-mail: esalk@stle.org
<http://www.stle.org>

YAYIN İLKELERİ

Amaç

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

Kapsam

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

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

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

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

Makalelerin Değerlendirilmesi

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

YAYIN HAKKI

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

ÇALIŞMA İLKELERİ

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

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

Journal of MECHANICAL DESIGN AND PRODUCTION

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

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

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

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

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

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

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

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

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

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

- Makalenin adı
 - Yazar(lar) ad(lar)ı, ünvanları, bağlı olduğu kuruluş ve kuruluşun bulunduğu il.
 - Özet ve anahtar kelimeler
 - Makalenin ana kısmı
 - Teşekkür (gerekli ise)
 - İngilizce başlık, özet ve anahtar kelimeler
 - Kaynakça
 - Ek(ler) varsa
- Makalenin adı, olabildiğince kısa, gereksiz ayrıntıdan arınmış olmalı, ancak gerekli anahtar sözcükleri içermelidir.

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

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

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun tanıtılmalı, 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 satırda devam edilmelidir.

Matematiksel Bağlantılar

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

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

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

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

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

Dip Notu

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

Kaynakça

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

- Dergi Makalesi
1. Richie, G.S., Nonlinear Dynamic Characteristics of Finite Journal Bearings, *ASME, J. of Lub. Technology*, 105 (1983) 3, 375-376.
- Kitap
2. Shigley, J.E. ve Mitchell, L.P., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill Book Company, New York, 1983.
- Rapor
3. Arslan, A.V. ve Novoseletsky, L.A., *Mathematical Model to Predict the Dynamic Vertical Wheel/Rail Forces Associated with Low Rail Joint*, AAR Technical Center, Technical Report, No.R-462, October 1980.
- Kongre Makalesi
4. Adalı, E. ve Tunalı, F., Bilgisayar Denetimli Tezgaha Geçiş, *1. Ulusal Makina Tasarım ve İmalat Kongresi Bildiri Kitabı*, 287-293, ODTÜ, 1984.

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

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

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

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

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.

1. Örnek dip notu