

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 4

Sayı : 2

Kasım 2001



Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Sahibi

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ODTÜ

Yayın Kurulu

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

ODTÜ
Gazi Ü
ODTÜ
ODTÜ
İTÜ
ODTÜ

Danışma Kurulu

Mustafa AKKURT
Alpay ANKARA
M.A. Sahir ARIKAN
Tuna BALKAN
Sedat BAYSEÇ
Erhan BUDAK
Melih DÖLEN
Hüseyin FİLİZ
Necdet GEREN
Mustafa İ. GÖKLER
Erk İNGER
Ferruh ÖZTÜRK
Levend PARNAS
Ömer SAATÇIOĞLU
O. Selçuk YAHŞI

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

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

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

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

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

e-mail : matim@metu.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 4 Sayı: 2 Kasım 2001

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 4 No: 2 Nov. 2001

ISSN 1302-9487

Telif Hakkı

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 Koşulları

Yıllık abone bedeli 2001 yılı içinde gerçek kişiler için 6.000.000 TL, firma ve kuruluşlar için 30.000.000 TL, öğrenciler için 3.000.000 TL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresiniz ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

Tanıtım Koşulları

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

Banka Hesap Numarası

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

Dizgi

Gülseren AYDIN

Baskı

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

- | | |
|---|-----|
| Dış Tornalama İşlemleri İçin Bilgisayar Destekli
Kater ve Uç Seçimi
A. Alper KALAÇ
Can ÇOĞUN | 65 |
| İnce Kesitli Bir Kanal İçerisindeki Akımın İncelenmesi
için $2\frac{1}{2}$ -Boyutlu Formülasyon
Gülşen YAMAN
Mehmet İREN | 78 |
| Düz Dişlide Profil Kaydırma Faktörünün, Çatlak
İlerleme Yolu Üzerindeki Etkisi
Halil ÖZER
Durmuş GÜNAY | 89 |
| 6063 Al Alaşımının Yaşlandırılmasında Çözündürme
Sıcaklığının İç Yapı ve Yorulma Özelliklerine Etkisi
Mustafa TAYANÇ
Gülcan TOKTAŞ | 96 |
| Altı Serbestlik Dereceli Bir Endüstriyel Robotun
Tasarımı, İmalatı ve Çalıştırılması
Oygun EREN
Bilgin KAFTANOĞLU | 103 |
| Makina Tasarım ve İmalatında Yeni Dönem:
Makina Direktifine Uyumluluk ve CE İşareti
Atila ÇINAR | 112 |
| Engineering Tribology
Gwidon W. Stachowiak, Andrew W. Batchelor
Butterworth-Heinemann ISBN 0-7506-7304-4
Metin AKKÖK | 117 |
| YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE
BİLİMSEL ETKİNLİKLER | 119 |

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

A. Alper Kalaç

Yüksek Makina Mühendisi

Can Çoğun

Prof. Dr.

Makina Mühendisliği Bölümü
Gazi Üniversitesi
Ankara

Dış Tornalama İşlemleri İçin Bilgisayar Destekli Kater ve Uç Seçimi

Bu çalışmada, dış yüzey tornalama işlemlerinde kater ve uç seçimi yapan bir yazılım geliştirilmiş ve denenmiştir. İşparçası malzemesi, kesici takım sistemi ve uygulama bilgileri girildikten sonra yazılım yardımıyla oluşturulan işparçası geometrisine uyan kesici takım açıları hesaplanarak uygun takımlar yazılım tarafından seçilir. Yazılım, kaba işleme kesici takımının işleyebilmesi için parçada gereken geometrisel kabalaştırmaları yapar ve oluşan yeni kaba forma uyan kesici takımları seçer. Geliştirilen yazılım Microsoft Visual Basic 5.0 programlama diliyle yazılmış olup, Sandvik Coromant 98 Kataloğundan alınmış standart kesici takım bilgilerini içeren Microsoft Access 95 esaslı bir veri tabanını kullanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Dış Yüzey Tornalama, Kesici Takım Seçimi.

GİRİŞ

Tornalama işlemlerinin çeşitliliği ve iş parçalarının işlenebilirliğinin farklı olması kesici takım malzemesinin, biçiminin ve açılarının farklı olmasını gerektirir. Bir kesici takım kataloğu açıldığında karşılaşılabilecek birçok kesici takım arasından hangisinin işe en uygun olacağının kestirilebilmesi hayli güç bir iştir. Günümüzde birçok talaşlı imalatçı farklı bir kesici takım seçmenin ne gibi işleme sonuçları doğuracağını tahmin edemediklerinden tecrübe edilmiş kesici takımları seçmeye özen göstermektedirler. Bu çalışmada “kesici takım” terimi “kesici ucu” ve kesici ucun bağlandığı “kateri” ifade etmek için kullanılmıştır.

Tornalama operasyonlarındaki işparçaları gerçekte üç boyutlu nesneler olmalarına rağmen iki boyutta tanımlanabilirler. İki boyutlu işparçasını oluşturan kısımları (bu çalışmada “elemanlar” olarak anılacaktır) basit geometriler olarak tanımlamak mümkündür. Bu tanımlama, işparçasını oluşturan elemanların şekline göre ilk ve son çaplarını ve elemanın boyunu veya bazı diğer özelliklerini (iç veya dış bükeylik yarıçapları gibi) belirterek yapılabilir.

İşparçasının son şeklini oluşturabilmek için uygulanan talaş kaldırma işlemi herhangi bir kesici takım ile yapılamaz. Seçilen takımın malzeme özellikleri yanında takım geometrisinin de doğru

olması gerekir. Kaba işlemede kullanılan kesici takımlar, hassas işlemede kullanılanlara göre daha fazla paso derinliklerini işleyebilmekte ve dolayısıyla işleme hızını artırabilmektedirler. Böylelikle kaba yüzeyleri oluştururken uygun kaba kesici takımlar kullanılarak toplam işleme süresi kısaltılabilmekte ve dolayısıyla işleme maliyeti düşürülebilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, geliştirilen bir yazılım yardımıyla tornada silindirik, konik, iç ve dış bükey elemanların oluşturduğu işparçalarının dış yüzeylerini işlerken kaba operasyonlar için yarı bitmiş işparçası geometrisini belirlemek ve işparçasına bu şekli verebilmek için gereken kaba işleme takımlarını seçmek, daha sonra istenen yüzey kalitesine göre son şekli verebilecek kesici takım geometrilerini belirleyip, takımları seçmektir. Belirtilen bu işlevlerin yapılabilmesi için programda: i) işparçası şeklini oluşturma, ii) oluşturulan işparçası geometrisinin analizi, iii) uygun kesici takımların tespiti modülleri geliştirilmiştir. Yazılım Microsoft Visual Basic 5.0 programlama dili kullanılarak geliştirilmiştir. Veri tabanı ise Microsoft Access 95 veri tabanı programı yardımı ile Sandvik Coromant 1998 kesici takım kataloğu kullanılarak oluşturulmuştur. Veri tabanına erişim SQL kodları kullanılarak yapılmıştır.

Saygın ve Eskicioğlu tarafından geliştirilen IRPPS yazılımında bilgisayar destekli kural tabanlı bir imalat planlama yazılımında AUTOCAD altında dxf dosyaları ile parçanın geometrisi oluşturulmuştur

[1, 2]. Dönel parçalar için nesneye yönelik bir ürün geometrisi modelleme sistemi Shafiq, Saygın ve Eskicioğlu'na [3] ait bir çalışmada C++ programlama diliyle geliştirilmiştir. Chen ve Hinduja [4, 5] çalışmalarında 2 boyuta indirgenmiş işparçası geometrisini esas alarak, kesici takımın işparçası elemanları ile çarpışma (kesişme) koşullarını incelemiş ve elde edilen genel prensiplerden faydalanarak kaba tornalama operasyonları için kesici takım açılarının belirlenmesini sağlamıştır. Tokuroğlu ve Anlağan [6] Turnbase 1.0 adlı tornalama işlemleri için geliştirdikleri veritabanı sisteminde, seçilen talaş kaldırma yöntemine uygun takım tipini bir menüden seçmekte ve diğer menülerden takım malzemesi, kaplaması, vb özellikleri tanımlamaktadır. Kesici takım sertliği ve imalatçı firma tanımlamasını takiben takım seçilebilmektedir. Bu seçimlerde işparçası geometrisi bilgisi kullanılmamıştır. Diğer bir çalışmada Günel ve Çoğun [7] Microsoft Access yazılımı bünyesinde oluşturulan bir kesici takım (uç ve katerler) veritabanı yardımıyla işlenecek malzemeye, operasyona, uç sistemine, uç tipine, uç geometrisine, kesme hızına ve ilerleme hızına göre uç ve kater seçebilmektedir. Her aşamada kullanılan menülerden yapılan seçimler, takip eden menülerdeki seçenek sayısını azaltmakta ve son aşamada oldukça az sayıda uç ve kater kullanıcıya sunulmaktadır. Ashraf [8] çalışmasında dönel parçalar için parça geometrisi tanımlama modülünün oluşturduğu veri kütüğü ve takım veritabanında bulunan ISO takım kodlarını kullanarak takım seçmektedir. Geliştirilen sistem, kanal ve vida operasyonları için gerekli takımları da seçebilmekte olup boyuna tornalamada seçilecek takımların rijitliğini sağlamak için büyük uç açısına sahip takımlara öncelik vermektedir.

Bu çalışmanın diğerlerine olan üstünlükleri; kullanılan veri tabanının "Microsoft Access" gibi "Windows" işletim sisteminin bünyesindeki çok kapsamlı, esnek ve diğer veri tabanlarına uyumlu bir sistemde yaratılmış olması, Sandwick 98 kataloğu bilgilerinin çok detaylı bir şekilde veri tabanına girilmiş olması, uç ve kater seçiminde ekonomiklik seçeneğinin varlığı, katerlere uygun uçların seçilmesi ve sadece işleme koşullarını kullanarak (işparçası geometrisi kullanılmadan) takım seçiminin yapılabilmesidir.

İNDEKSLENMİŞ UÇLAR VE KATERLER

Günümüzde tornalama işlemlerinin %90'ında indekslenmiş uçlar ve katerler kullanılmaktadır. İndekslenmiş uçlar ISO 1832 [9]'ye göre standartlaştırılmışlardır. İndeksler rakam ve harflerden oluşmaktadır. Türk Standartlarında (TSE)

kesici takımlarla ilgili terim, standartlar ve açılar TS 3712'de verilmektedir [10].

Uçlar [11]

Uç şekli: Kesici ucun üstten görünüş şeklidir. Tek harfle simgeleştirilmiştir. Kare için S, üçgen için T, daire için R gibi.

Uç Boşluk açısı: Ucun üstten görünüş yüzeyine dik düzlem ile uç kenarının oluşturduğu açıdır. Tek bir harfle sembolize edilmiştir. Günümüzde kullanılan 10 harf yardımıyla 0°-30° arasındaki açılar belirtilir. Örneğin 0°'lik boşluk açılı uç N harfi ile, 11°'lik boşluk açılı uç P harfi ile gösterilir.

Tolerans: Uç kalınlığı ve kesici köşe dairesellik toleransını tanımlar. Tek bir harf ile sembolize edilmiştir. Küçük toleranslar uç fiyatını artırır.

Uç tipi: Uç özelliklerine göre adlandırılır. Tek bir harf ile sembolize edilir. Örneğin, düzlemsel uçlar (deliksiz ve talaş kırıcısız) N harfi ile, tek tarafında talaş kırıcı olanlar R harfi ile, delikli ve tek tarafında talaş kırıcı olanlar M harfi ile temsil edilir.

Uç boyutu: İki haneli rakam ile belirtilir. Dairesel şekilli olanların dışındaki uçların kesme kenar uzunluğunu belirtir. Dairesel olanlarda ise çapı gösterir.

Uç kalınlığı: 01, 02, 03, T3, 04 gibi 12 adet ifadesi vardır. Bunlar 1,59 mm'den 12,0 mm'ye kadar çeşitli kalınlıkları gösterir. T3 sisteme sonradan eklendiği için farklıdır.

Kesici köşe yarıçapı: Kesici köşe yarıçapını temsil eden harflerle sembolize edilmiştir. Dairesel uçlar için 00 kullanılır.

Kesici kenar şekli: Tek bir harf ile sembolize edilir. Keskin kenar olabileceği gibi çeşitli boyutlarda pah kırılarak da oluşturulmuş değişik kenar geometrileri mevcuttur.

Kesme yönü: Kesme yönünü belirten tek bir harf ile gösterilir. Sağdan sola doğru işleme için R, tersi için L ve her iki yönde de kullanılabilenler için N harfleri kullanılır.

Üretici seçeneği: Opsiyoneldir. Ek bilgileri belirtmek için kullanılır. Harf veya rakam ile sembolize edilir. ISO tarafından tanımlanmamış başka indekslenebilir uçlar da mevcuttur. Örneğin kanal, kesme ve diş açma uçları standart hale getirilmemişlerdir.

Günümüzde yaygın olarak T-MAX P, T-MAX U ve T-MAX uç sistemleri kullanılmaktadır:

i) **Dış/iç Negatif kesici uç (T-MAX P):** Genel dış yüzey tornalama işlemleri için negatif kesici uçları kapsar. Çok kaba tornalamadan çok hassas tornalamaya kadar tüm işlemlerde kullanılabilir. Negatif şekilli oldukları için güçlü kesme kenarlarına sahiptirler. Büyük çaplı iç yüzey tornalama işlemlerinde de kullanılabilirler. Konik işlemlerde en fazla 27°'lik eğimleri işleyebilirler.

ii) İç/dış pozitif kesici uç (T-MAX U): İç yüzey tornalama işlemleri için kullanılırlar. Bunun yanında küçük çaplı dış yüzey işlemlerinde de kullanılabılır. Kaba, orta ve hassas tornalama işlemleri için geliştirilmiştir. Pozitif şekilli oldukları için düşük kesme kuvvetleri oluştururlar. Konik işlemlerde en fazla 50°'lik eğimleri işleyebilirler.

iii) Seramikler (T-MAX): Seramik uçlardan oluşmuşlardır. Sayıları diğerlerine göre daha azdır. Konik işlemlerde en fazla 27°'lik eğimleri işleyebilirler.

Katerler [11]

Kullanılan bağlama sistemi, uç ve kater arasındaki dayanak yüzeyine kuvvet uygulayarak ucu hareketsiz hale getirir. Aşağıda yaygın olarak kullanılan bağlama sistemleri sunulmuştur.

i) Üstten bağlamalı (overhead clamping) (C tipi): Bu bağlama sistemi deliksiz uçlar için uygulanır. Hafif ve orta talaş işlemleri için uygun olan bu sistem ucu geriye doğru bastıran kesme işlemlerinde kullanılmalıdır. Çok kaba işlemler için uygun değildir.

ii) Delikten bağlamalı (çektirmeli) (Lever lock clamping) (P tipi): Sadece negatif talaş açılı delikli uçlar için uygundur. Rijitliği iyi olan bir bağlama sistemidir. Çelik ve dökme demirlerin orta ve kaba işlemlerinde kullanılır.

iii) Delikten vidalamalı (screw clamping) (S tipi): Kaba uygulamalar için uygun değildir. Genelde pozitif talaş açılı uçların kullanımında yaygındır.

vi) Üstten ve delikten bağlamalı (wedge clamping) (M tipi): Kater ucunda yeterli mesafe olmadığı zaman bu sistem kullanılır. Pahalı bağlama sistemlerinden biridir.

Katerlerin tanımlanmasında kullanılan ana özellikler aşağıdadır:

Uç Şekli: Çeşitli şekillerde 8 çeşit uç vardır.

Kater Stili: İş parçasına kesici kenar ayar açıları belirtilmiş 22 çeşit kater stili vardır. Harflerle sembolize edilmiştir.

Uç Boşluk Açısı: Uç boşluk açısı denmesine rağmen gerçekteki değerine karşılık gelmez. Gerçek boşluk açısı uç katere bağlandıktan sonra oluşur. Harflerle belirtilmiştir.

Kater Yönü: Sağ kater (R), sol kater (L) veya normal kater (N) olabilir.

Kater Yüksekliği: mm cinsinden katerin yüksekliğine karşılık gelen iki basamaklı rakam ile belirtilir.

Kater Eni: mm cinsinden katerin enine karşılık gelen iki basamaklı rakam ile belirtilir.

Takım Uzunluğu: Kater ve ona bağlı ucun birlikte oluşturduğu mesafedir. 32mm ile 500mm arasındaki belli değerlerden oluşur. Örneğin 150mm uzunluğundaki kater M harfi ile sembolize edilir.

Kesici Kenar Uzunluğu: Ucu kesme işleminde kullanılan kısmının boyudur.

Özel Stil: Opsiyondur. Hassas takımları isimlendirmek için kullanılır.

GELİŞTİRİLEN YAZILIMIN MANTIĞI

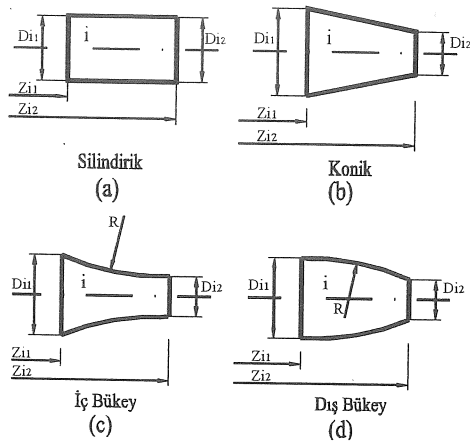
İşparçası Şekli

İş parçası silindirik, konik, iç ve dış bükey gibi basit geometrilerin (elemanların) eklenmesi ile oluşur. Eklenmek istenen ardışık elemanların verileri girilerek işparçası tanımlanır. Şekil 1 kullanılabilecek elemanları ve bunları tanımlamak için gerekli ölçüleri (parametreleri) göstermektedir. Ölçü tanımlarında D ve Z, çap ve işmiline uzaklık bilgilerini tanımlar. Harfin yanındaki ilk rakam elemanın numarasını, alt indis olarak verilen 1 ve 2 sayıları ise sırasıyla elemanın sol ve sağ ucuyla ilgili bilgiyi tanımlar. İlk tanımlanan eleman torna tezgahının aynasına (sıfır noktası) en yakın olandır. İlk elemanın Z11 ölçüsü sıfırdır. Her elemanın Zi2 ölçüsü bir sonraki elemanın Z(i+1)1 ölçüsüne eşit olmalıdır. Elemanlar 1'den başlayarak numaralandırılır. Bu numaralar ölçüleri ifade eden harflerden sonra yazılır. Örneğin 2 nolu elemanın sıfıra yakın (sol) kenarının çapı D21, sıfıra uzak (sağ) kenarının çapı D22 dir. Silindirik elemanlar, başlangıç ve bitiş noktalarının torna tezgahının aynasına (sıfıra) olan uzaklığı (Zi1, Zi2) ve çapı (Di1 = Di2) ile tanımlanır (Şekil 1a). Konik elemanların iki çap değeri vardır. Başlangıç çapı (Di1) son bitiş çapından (Di2) büyük olursa daralan, aksi halde genişleyen konik yüzey elde edilir (Şekil 1b). İç ve dış bükey elemanlarda konik yüzey oluşturmak için tanımlanan ölçülere ek olarak iç/dış bükeylik yarıçap değeri (R) de belirtilmelidir (Şekil 1c ve 1d). İç veya dış bükey yüzeyler çember denklemi kullanılarak oluşturulur. İç/dış bükeylik yarıçapı o elemanın boyundan küçük olamaz. Böyle bir yüzey ard arda azalan ve artan iki iç bükey yüzey oluşturularak elde edilebilir. Dış bükeylik durumunda ise Zi1 ve Zi2'den geçen ve yarıçapı o elemanın boyundan küçük olan bir yüzey elde etmek mümkün değildir.

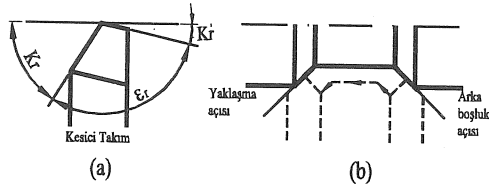
Oluşturulan İş Parçası Geometrisinin Analizi

Tornalama işlemleri esnasında kesici takımın yalnızca kesme (kesici) kenarı işparçası ile temasta olmalıdır. Bunun için kesici takımın kesici kenar ayar açısı (Kr) ve yardımcı kesici kenar açısı (Kr¹) doğru olarak hesaplanmalıdır (Şekil 2a). Geliştirilen yazılımda işparçası geometrisi oluşturulduktan sonra geometri üzerinden Kr ve Kr¹ hesaplanmaktadır. Eğer kaba işleme yapılacaksa oluşturulan geometri kabalaştırıldıktan sonra açılar hesaplanmaktadır. Buradaki "kabalaştırma" terimi, işparçası geometrisinin sağ katerle işlenebilecek hale (sağ kalemle işleme yapılabilecek şekilde kabalaştırma)

veya dairesel yüzeylerin de konikleştirilerek (iç ve dış bükey elemanların kabalaştırılması) kaba operasyonlara uygun hale getirilmesini ifade etmektedir.



Şekil 1. İş parçasını oluşturan elemanların geometrileri ve tanımlayıcı ölçüleri (parametreleri)



Şekil 2. Sağ kalem için işparçasında oluşan açılar

Kesici takımın sağdan sola veya soldan sağa doğru hareketi sırasında işparçasında oluşturduğu açıya yaklaşma açısı; takımın arka kenarının oluşturduğu açıya da arka boşluk açısı denir. Kesici takımın sağdan sola doğru hareketi sırasındaki bu açılar Şekil 2b'de gösterilmiştir. Soldan sağa doğru hareket sırasında oluşan açılar Şekil 2b'dekin tam tersi olacaktır.

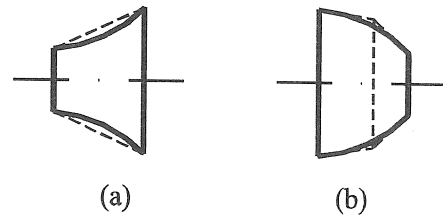
İç ve dış bükey yüzeylerin kabalaştırılması: İç ve dış bükey yüzeyler konik yüzeylere dönüştürülerek kabalaştırılır [8]. İç bükeylerde iki uç noktanın birleştirilmesi sonucu konik yüzey elde edilirken (Şekil 3a) dış bükeylerde iki uç noktadan çizilen teğetlerin kesişimiyle iki konik yüzey elde edilir (Şekil 3b).

Sağ kalemle işleme yapabilecek şekilde kabalaştırma: Bu adımda her bir elemanın birbirine göre boyut ve konumları göz önünde bulundurularak kaba işleme yüzeyleri oluşturulmaktadır. İç ve dış bükey yüzeyler de kabalaştırıldıktan sonra işparçası, silindirik ve koniklerden oluşmaktadır. Bu kabalaştırmalar sonucunda aşağıdaki durumlardan bahsedilebilir:

Durum 1: Şekil 4a'daki gibi çap farkının bulunduğu durumlarda sağ kalem 1 nolu yüzeye yanaşamaz. Bu durumda kesici takım değişikliği yapmamak için geçici bir yüzey oluşturularak kaba şekil oluşturulur. Elemanlar konik veya silindirik olabilir. Tek şart D21 çapının D12 çapından büyük olmasıdır. Bu tip yüzeylerde 2 nolu elemanın A noktasından maksimum arka boşluk açısına eşit açıya sahip konik bir yüzey oluşturulur. Böylelikle kesici takım 1 nolu yüzeye erişebilir. Oluşturulan geçici yüzey, orta veya hassas işleme yapılacaksa sol kalem ile işlenir.

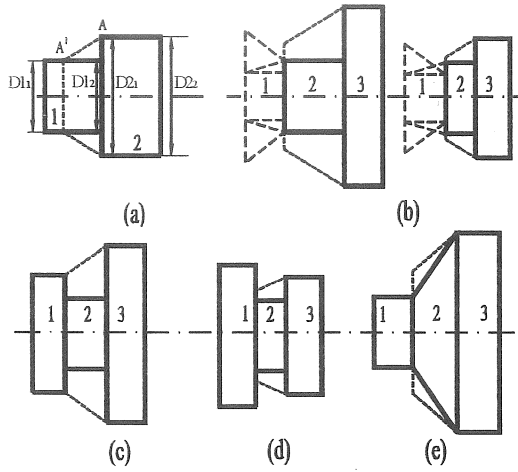
Takımın arka boşluk açısına göre oluşturulacak konik yüzeyin A¹ noktası 1 nolu eleman yüzeyine temas etmezse (1 nolu elemanın boyu yeterince uzun değilse veya D21 çapı fazla büyükse) şekli kabalaştırmak için iki seçenekten biri kullanılır: i) Şekil 4b'deki gibi D12 çapının D21 çapından küçük veya eşit olması şartıyla D22 çapı D31 çapından küçük olduğu durumlarda A noktasından uygun eğimi sağlayacak konik yüzey 2 nolu elemanın yerine geçer. ii) D21 çapı D12 çapından, D22 çapı da D31 çapından küçükse iki kritere bakılır. D12 çapı D31 çapından büyükse (Şekil 4c) uygun eğimde 3 nolu elemandan başlayan konik yüzey 2 nolu elemanın yerine geçer. D12 çapı 2 nolu elemanın D31 çapından küçükse (Şekil 4d) 3 nolu elemanın başı ile 1 nolu elemanın sonu eğime bakılmaksızın birleştirilir. Oluşan konik yüzeyin eğimi kesici takımın işleyebileceği eğimden büyük olsa bile bu durum geometrinin sonraki taranışında durum 2'ye göre uygun hale getirilecektir.

Durum 2: Şekil 4e'deki gibi eğimi sağ kalemin işleyemeyeceği kadar büyük olan geometriler de yine konik geometriler kullanılarak kabalaştırılır. Bu tip geometrilerde 1 nolu elemanın geometrisi ne olursa olsun konik yüzey eğimi sağ kalemle işlemeye uygun koniğe çevrilir. Oluşan olumsuz geometriler Durum 1'e uygun hale dönüştürüleceğinden işlenebilir.



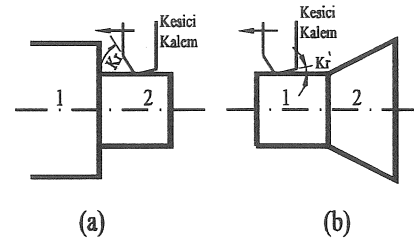
Şekil 3. İç bükey ve dış bükey geometrilerin kabalaştırılması

Kesme açılarının belirlenmesi: Talaş kaldırma işlemi sırasında kesici takımın Kr ve Kr¹ açıları, talaş kaldırılan elemanın geometrisinin yanısıra bir önceki ve bir sonraki elemanların da geometrileri ve konumları tarafından belirlenir [4, 5].

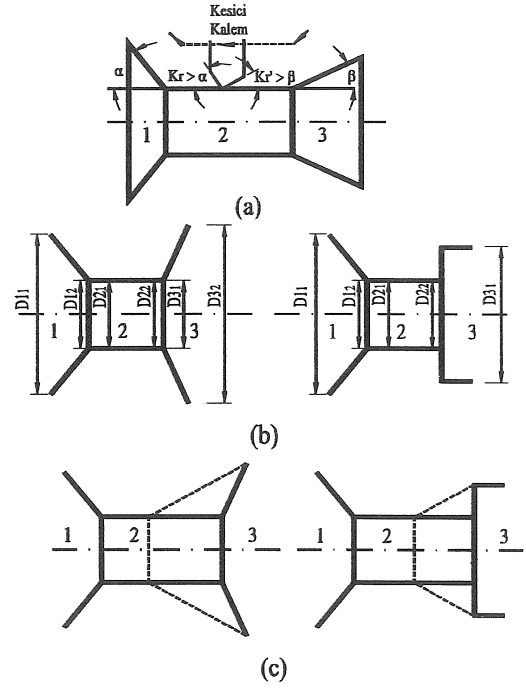


Şekil 4. Sağ kalem için kabalaştırma

Silindirik Eleman: Silindirik düz bir çubuk işlenirken takımın Kr ve Kr^1 açılarının 0° 'den büyük olması yeterlidir. Ancak Şekil 5a'daki gibi bir parça geometrisi için aynı şeyleri söylemek mümkün değildir. Bu şekilde 2 nolu eleman herhangi bir geometride olabilir. 2 nolu elemanın $D21$ çapı 1 nolu parçanın $D12$ çapından büyük olduğu durumda, bu tip geometriyi işleyebilmek için bir önceki örnekten farklı olarak takımın Kr açısının 90° 'den büyük olması gerekir. Aksi halde çap değişiminin olduğu yüzeyi işlemek mümkün olamaz. Şekil 5b'de ise Kr^1 açısını 2 nolu eleman sınırlamaktadır. Dolayısı ile kesici takımın Kr^1 açısının, 2 nolu elemanın eğiminden (açısından) büyük olması gerekmektedir. Şekil 6a'daki geometriyi oluşturabilmek için (3 nolu eleman yüzeyinin sağ katerle işlenebildiği varsayılarak) Kr açısının 1 nolu elemanın eğiminden büyük olması gerekirken Kr^1 açısının da 3 nolu elemanın eğiminden büyük olması gerekmektedir. 1 nolu elemanın eğimine α , 3 nolu elemanın eğimine β dersek $Kr > \alpha$, $Kr^1 > \beta$ olmalıdır. Şekil 6b'deki 3 nolu elemanın eğimi sağ kalemın yanaşamayacağı kadar büyükse ya da $D31$ çapı $D22$ çapından büyükse 2 nolu yüzey sol kalemle işlenir. Eğer 1 nolu yüzeyin eğimi de sol kalemın yanaşamayacağı kadar büyükse ya da $D12$ çapı $D21$ çapından büyükse 2 nolu yüzeye hem sağ kalem hem de sol kalem yanaşamaz. Bu durumda 2 nolu yüzey kanal kalemı ile işlenir. 2 nolu elemanın boyunun Şekil 6c'deki gibi uzun olduğu durumlarda bu yüzeyin tamamının kanal kalemıyla işlenmesinin pek pratik olmayacağı açıktır. Bu durumda 3 nolu elemandan 2 nolu elemanın yüzeyine sağ kalemın işleyebileceği eğimde geçici bir yüzey oluşturulur. Sağ kalemın 1 nolu elemanı da işleyip görevini tamamlamasından sonra oluşturulan geçici yüzey sol kalemle işlenerek istenen yüzey elde edilmiş olur.



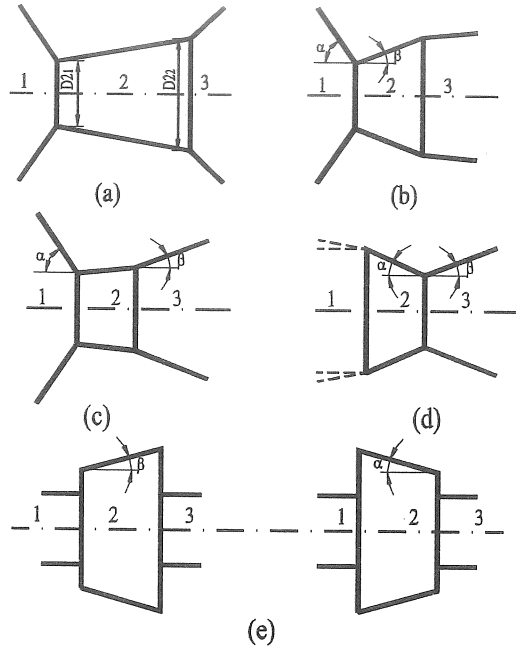
Şekil 5. Kr ve Kr^1 açılarına göre kabalaştırma



Şekil 6. Takımın Kr ve Kr^1 açılarının 1 ve 3 nolu elemanlara göre belirlenmesi

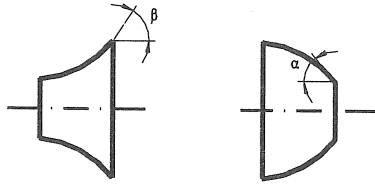
Konik Eleman: Şekil 7a'daki gibi (3 nolu eleman sağ kalemın işlemesine engel olmayacak eğimde) bir yüzey işlenirken 1 ve 3 nolu elemanların eğimleri yanında 2 nolu elemanın eğimi de kesici takımın açılarını sınırlar. 2 nolu elemanın $D21$ çapının $D22$ 'den küçük olduğu durumda Kr^1 etkilenirken tersi durumda ($D22 < D21$) Kr etkilenir.

Şekil 7b'de 2 nolu elemanın eğimi 3 nolu elemanınkinden büyüktür. Böyle bir yüzey işlenirken Kr α 'dan, Kr^1 da β 'den büyük olmalıdır. Şekil 7c'de ise β , 3 nolu elemanın eğimine eşit olacaktır. Genel olarak Şekil 7b-d'deki geometrileri işleyebilmek için kesici takımın Kr açısı α 'dan, Kr^1 açısı da β 'den büyük olmalıdır. 1 ve 3 nolu elemanların 2 nolu eleman ile komşu kenarlarının çapları Şekil 7e'deki gibi daha küçükse açıları belirlemede tek faktör β veya α olacaktır ($Kr^1 > \beta$ veya $Kr > \alpha$).



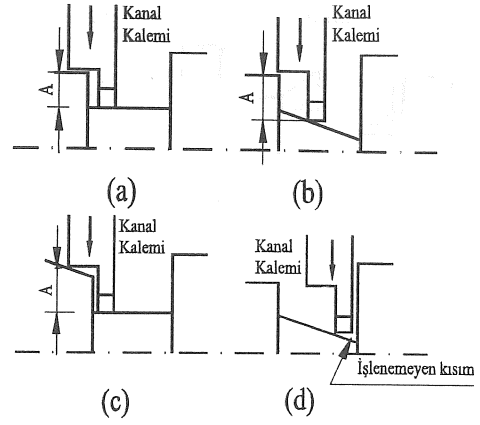
Şekil 7. Konik işlemede Kr ve Kr^1 açılarını sınırlandıran çeşitli durumlar

İç ve dış bükü elemanlar: Bu tip yüzeylerin işlenmesi için gerekli açılar hesaplanması konik parçaların işlenmesinde olduğu gibidir. Konik parçalarda yüzeyin eğiminde koniklik açısı kullanılırken iç ve dış bükü parçalarda dairesel yüzeyde oluşan en büyük eğim kullanılır [5] (Şekil 8).



Şekil 8. İç ve dış bükü elemanlarda kullanılan eğimler

Kanal kalemi ile işlenecek elemanlar: İş parçasında herhangi bir parça yüzeyi işlenirken parçanın ve komşu parçaların geometrileri ne sağ ne de sol kalemin çalışmasına müsaade etmiyorsa o yüzey kanal kalemi ile işlenir. Kanal kalemi ile işleme yaparken geometrik kriter olarak kalemin dalma derinliği, işlenecek yüzeyin iki ucuna dalabilmek için gerekli derinliklerin kıyaslanması sonucu bulunur. Bu kıyaslama sonusunda küçük derinlik esas alınır. Şekil 9a'daki gibi bir yüzey kanal kalemiyle işlenirken A derinliğini sağlayabilecek (kurtarabilecek) sol kater kullanılır. Şekil 9b ve 9c'deki yüzeyler işlenirken ise A derinliği şekildeki gibi hesaplanır



Şekil 9. Kanal kaleminin işleme derinliğinin (A) Bulunması

Veri Tabanından Uygun Kesici Takımların Seçimi

Bu çalışmada yaratılan veritabanında, sadece Sandvik Kataloğunun [11] dış yüzey operasyonları için tanımladığı torna kalemleri yer almıştır. İç tornalama işlemleri ile ilgili geometrik analiz bu çalışmada yer almadığından veritabanına da ilgili takımlar girilmemiştir.

Kater seçimi: İş parçasının geometrik analizi sonucu her bir eleman için şu parametreler bulunur: 1) Takımın yönü (sağ/sol), 2) Takım kesici kenar ayar açısı (Kr), 3) Takımın yardımcı kesici kenar açısı (Kr^1). Bu elemanlar işleme (kater) yönlerine göre gruplandırılır. Sağ katerle işlenecek elemanlar incelenerek en büyük Kr ve Kr^1 bulunur. Bu açılara $(Kr)_{max}$ ve $(Kr^1)_{max}$ denirse, kesici kenar ayar açısı Kr ($Kr)_{max}$ 'dan, yardımcı kesici kenar açısı Kr^1 da $(Kr^1)_{max}$ 'dan büyük olan veri tabanındaki bütün katerler sağ katerle işlenecek bütün elemanları işleyebilir. Aynı işlem sol katerle işlenecek elemanlar için de yapılır. Örneğin sağ katerler için $(Kr)_{max} = 75^\circ$, $(Kr^1)_{max} = 25^\circ$ olsun. Uç açısı 80° 'den daha küçük olan en büyük uç açılı kesici takım kullanılmalıdır [11].

Uç seçimi: Kater seçimi yapıldıktan sonra uç seçimi yapılır. Seçilen katerin tipine uygun uç veritabanından belirlenir. Kesici uç belirlenirken Sandvik kataloğunun [11] tavsiyelerinden faydalanılır.

Kanal kalemi seçimi: Kanal kalemi ile işlenecek yüzeylerde iş parçasının geometrik analizi sonucunda belirlenen şu bilgiler bulunur: 1) Kesici takımın yönü (sağ/sol), 2) Dalma derinliği. Birden fazla kanal kalemi ile işlenecek yüzey varsa hepsinin aynı yönlü kalemlerle işlenip işlenemeyeceği kontrol edilir. İşlenebiliyorsa en büyük derinliği sağlayan kanal kalemi belirlenir.

YAZILIMIN ALT PROGRAMLARI

Çizim Fonksiyonu

İşparçası geometrisinin oluşturulduğu alt programdır. İşparçası geometrisi silindirik, konik, iç ve dış bükey yüzeylerin birleşiminden oluşmaktadır. Bu yüzeyler iki boyutlu olarak tanımlanmaktadır. Form üzerindeki Z eksen program içinde X eksen olarak kabul edilmektedir. Y eksen X'in saat yönünün tersi yönde 90° çevrilmesi ile elde edilir. Şekiller form üzerine 800x800'lük bir çözünürlükte çizilmektedir. (0,0) noktası formun sol kenarının ortasına yerleştirilmiştir. "Zoom" komutları ile bu görüntü büyütülüp küçültülmektedir.

İlk eleman için $i = 0$ dir. Her eleman ekleme işlemi sonunda $i = i + 1$ şeklinde artar. Örneğin işparçası 7 kısımdan oluşuyorsa son eleman için $i = 6$ dir. Her bir eleman için oluşturulmuş dizinlerde o eleman ile ilgili bilgiler saklanmaktadır. $X1(i)$ elemanın ilk çapını, $X2(i)$ elemanın son çapını, $Y1(i)$ eleman başlangıcının, $Y2(i)$ eleman sonunun 0 (sıfır)'a olan uzaklıklarını, $P(i)$ eleman adını, $a(i)$ ve $b(i)$ iç ve dış bükey yüzeyin merkez koordinatlarını, $R(i)$ iç ve dış bükey elemanların iç/dış bükeylik yarıçapını tanımlar. $a(i)$, $b(i)$, $R(i)$ silindirik ve konik yüzeyler için 0'dır. Bu dizinlere kullanıcı tarafından program içinde değerler verilir. İş parçasını oluştururken kullanıcı tarafından girilen çap değerleri ikiye bölünerek $Y(i)$ değerleri hesaplanır. ($Y(i)=D/2$). Form üzerinde görülen Z eksen (aslında X eksenidir) üzerinde $Y(i)$ değerleri 0'dır. Dolayısıyla Z ekseninin üst kısmında oluşturulan eleman profilinde $Y(i)$ değerlerinin (-) işaretlieleri kullanılarak eksenin alt kısmında simetriği oluşturulur. Kullanılan yüzeyler için çap ve boy bilgileri aşağıdaki şekilde tanımlanır:

Silindirik yüzeyler: $P(i) = 1$ 'dir. Silindir, boyu ve çapı ile tanımlanır. X-Y düzlemi üzerinde dikdörtgen olarak çizilebilir. Silindir boyu dikdörtgenin X eksenine paralel çizilirken, çap Y eksenine paralel çizilir. Kullanıcı silindirik elemanı eklemek için $X2(i)$ ve $Y1(i)$ koordinatlarını girer. Elemanın ilk çapı son çapına eşittir ($Y2(i)=Y1(i)$) ve $X1(i)=X2(i-1)$ 'dir.

Konik yüzeyler: $P(i)=2$ 'dir. Kullanıcı $Y1(i)$ ve $Y2(i)$ değerlerini ayrı ayrı girer.

İç/Dış Bükey Yüzeyler: İç bükey için $P(i)=3$, dış bükey için $P(i)=4$ 'tür. Kullanıcı $Y1(i)$, $Y2(i)$, $X2(i)$, $R(i)$ değerlerini girer. Daire denklemi kullanılarak yüzey oluşturulur. Öncelikle iç/dış bükey yüzeyin dairesellik merkez koordinatları hesaplanır ve $a(i)$, $b(i)$ dizinlerinde saklanır. Daire denkleminin uygun koordinatlar noktalanarak yüzey oluşturulur.

SQL ifadeleri

Program, Microsoft Access ortamında [12-14] hazırlanmış olan *deneme1.mdb* veri tabanından

bilgileri alarak sorgu işlemini gerçekleştirmektedir. *mbd* dosyasında bulunan tablolar SQL ifadeleri kullanılarak sorgulanır. Sorgu işlemi sonucu visual basic ortamında oluşturulmuş data nesnesine aktarılır [15].

Kater seçimi: Kater seçimi ile ilgili aşağıda verilecek ifadeler içindeki değişkenler şunlardır;

sistem8: Sistemi tanımlar. T-Max P, T-Max U, T-Max değerlerinden birini alır. Kullanıcı girdileri kısmında kesici uç bilgisi bölümünde kullanıcı tarafından belirtilir.

Yakacı: Program tarafından hesaplanan, geometriye uygun en büyük kesici kenar ayar açısıdır.

Arkacı: Program tarafından hesaplanan, geometriye uygun en büyük yardımcı kesici kenar açısıdır

Hoft: Program tarafından belirlenir. İşleme yönünü belirtir (R veya L).

Nor: İki yönde de işleme yapabilen katerlerin seçimini sağlar. N değerini alır.

Duz: Düz işlemeyi belirtir

Egik: Konik işlemeyi belirtir.

Kater seçimi kaba ve hassas seçim olmak üzere iki ayrı bölümde yapılır. Bunun nedeni kaba kater seçilirken V tipi katerleri elemektir. Bu iki bölüm kendi içlerinde, hesaplanan yardımcı kesici kenar açısının 0° olup olmamasına göre ikiye ayrılır. Eğer yardımcı kesici kenar açısı sıfırsa düz ve konik işleme yapan katerler arasından, sıfırdan büyükse sadece konik işleme yapan katerler arasından seçim yapılır. Kaba kater seçiminde konik işleme yapabilenler seçilecekse SQL 1 (Çizelge 1); düz ve konik işleme yapabilenler seçilecekse SQL 2 ifadesi kullanılır. Hassas işlemler için konik işleme yapılacaksa SQL 3 ifadesi; düz işleme yapılacaksa SQL 4 ifadesi kullanılır. Bu SQL ifadeleri, *deneme1.mdb* dosyasındaki *tutucu222* tablosunda yer alan katerler listesinden istenen özellikteki katerleri seçerek bir ön veri oluşturmaktadır. Bu ön veri daha sonra açıklanacak başka sorgularla tekrar sorgulanır. Bahsedilen SQL ifadelerinde, kullanıcı tarafından belirtilen sistemde, program içinde hesaplanan takım kesici kenar ayar açısı ve yardımcı kesici kenar açısının oluşturduğu sınırlar içinde, hesaplanan yönde işleme yapan katerler alınarak ön veri oluşturulur. Bu işlemler sonucu oluşturulan *aqw01* ön veri tablosunda hesaplanan kesici kenar ayar açısı ve yardımcı kesici kenar açısı aralığındaki bütün katerler mevcuttur. Aynı tip katerin farklı boyutlu olanları da bu tabloda bulunmaktadır. Kullanıcıya mümkün olduğu kadar az sayıda kater sunularak karar vermeyi kolaylaştırmak için aynı tipte fakat farklı boyutta olanlar tek bir seçenek halinde sunulmaktadır. Burada en küçük boyutlu olanlar

seçilmektedir. Bu işlem SQL 5 ifadesi ile gerçekleştirilerek sonuç *aqw02* tablosuna aktarılır.

Eğer kullanıcı ekonomik seçim yapmak istemişse SQL 6 ifadesi ile *aqw02* tablosu tekrar sorgulanır. Sorgu işlemi sonucunda *aqw02* tablosu içinde kesici kenar ayar açısı ve yardımcı kesici kenar açısı toplamı en küçük olanlar seçilir. Ekonomik seçimde amaç seçilecek kesici ucu mümkün olduğunca büyük açılı yaparak takımın daha güçlü olmasını dolayısıyla daha uzun ömürlü olmasını sağlamaktır. Bağlama sistemi de ekonomiklikte rol oynadığı için *aqw02* tablosunda mevcut katerler arasından her bağlama sistemi için en büyük uç açılı olan kater seçilerek listeye eklenmektedir. SQL 6 ifadesi sonucunda bulunan değerler ile SQL 7 ifadesi yardımıyla elde edilen seçim sonucu, tablolamaya uygun hale getirilir.

Uç seçimi: Uç seçimi yapılırken daha önce seçilen katerin sipariş kodundan ilgili bilgiler alınarak uç adlı tablodan SQL 8 ifadesi ile uygun tüm kesici uçlar listelenir. Bu SQL ifadesinde Sandvik kataloğunun "Tavsiyeler" kısmındaki [11] hususlar göz önünde bulundurulmuştur.

Kanal kalem seçimi: Kanal kalem seçimi yapılırken, program içinde kanal kalem ile işleme yapılacak kısımlarda derinlik ve işleme yönü bilgileri kullanılır. Derinlik normal kanal katerlerinin işleyebileceğinden daha büyükse blok kalemleri arasından seçim gerçekleştirilir[11]. Seçim yapılırken kanal işleminin yönü etkili olur. Eğer kanal kalemiyle tornalama yapılacaksa "turning" katerleri arasından seçim yapılır (SQL 9). Normal katerler arasından seçim SQL 10 ifadesi ile yapılır. Bu ifadelerde *kesiciler_tutucu* tablosundan program içinde hesaplanmış en büyük kesme derinliğinden daha derinlere dabilen ve hesaplanmış yönde işleme yapabilen katerler seçilir. Kullanıcı uygun kateri seçtikten sonra seçilen katere uygun uçlar listelenir. Bunun için seçilen katerin kodları arasından uygun veriler alınarak SQL 11 ifadesi kullanılır. Eğer blok tipi kater seçilecekse *blok* tablosundan hesaplanmış en büyük işleme derinliğinden daha derin işleme yapabilen bloklar arasından seçim SQL 12 ile yapılır. Kullanıcının uygun bloğu seçiminden sonra bu blok ile birlikte çalışabilen lamalar SQL 13 yardımıyla listelenir. Daha sonraki aşamada uygun uçlar, gerekli verilerin seçilen lama kodundan alınarak SQL 14 ifadesinde kullanılmasıyla uygun uçlar listelenir. Burada blok katerlerin tornalama işlemi yapamaması yüzünden sadece kanal açabilen (grooving) uçlar arasından seçim yapılır.

YAZILIMIN AKIŞ SİSTEMATİĞİ (KULLANIMI)

Program çalıştırıldıktan sonra programla ilgili bilgi verici sayfalar herhangi bir tuşa basılarak geçildikten sonra ana menüye girilir. ANA MENÜ penceresinde "SEÇENEKLER" menüsü altında şu alt menüler mevcuttur:

Dosya Operasyonları: Önceden oluşturulmuş işparçası şeklini yüklemek için "YÜKLE" veya yeni oluşturulmuş şekli kaydetmek için "KAYDET" seçenekleri bulunur.

Çizim Fonksiyonları: İş parçası şeklini oluştururken kullanılan elemanların (silindir, konik, iç bükey ve dış bükey) sırasıyla boyut bilgileri girilir.

Veri Tabanı Görme/Düzeltilme: Access 95 veri tabanı oluşturma programı kullanılarak oluşturulmuş olan tabloları incelemek, yeni veri girişi yapmak veya veri silmek için kullanılır.

Çıkış: Programdan çıkmak için kullanılır.

Kullanıcının kesici takım seçimi yapması için iki seçenek vardır: 1.Oluşturulan şekile göre seçim, 2. Hızlı seçim

Oluşturulan Geometriye Göre Seçim

Oluşturulmuş olan işparçası geometrisine uygun kesici takım açıları hesaplanır. "TAMAM" tuşuna basıldıktan sonra Şekil 10'daki pencere açılır. Bu penceredeki bilgiler aşağıda verilmiştir.

SEÇİLENLER	
KABA İŞLEMLER İÇİN SAĞ KATERLER	
Kater : DDJNR 2020K11	Uç(Az kaba): DNMG 15 06 08-PR 4015 Uç(Kaba): DNMG 15 06 12-PR 4015
ORTA VE HASSAS İŞLEMLER İÇİN SAĞ KATERLER	
Kater : PCLNR 1616H09	Uç(Orta): CNMG 12 04 08-PM 1525 Uç(Hassas): CNMG 12 04 04-PF 1525 Uç(Çok hassas): CNMG 09 03 08-QF 5015
ORTA VE HASSAS İŞLEMLER İÇİN SOL KATERLER	
Kater : DTGNL 2020K16	Uç(Orta): TNMG 16 04 08-PM 1525 Uç(Hassas): TNMG 22 04 12-PF 1525 Uç(Çok hassas): TNMG 16 04 12-QF 4015
KANAL İŞLEMLERİ İÇİN TAKIMLAR	
Kater: RF151 23-2525-25M1 Uç: N151 2-300-25-E-G	
YAZDIR	
GÖSTER	

Şekil 10. Kullanıcı girdileri penceresi

Malzeme: Bu başlık altında işparçası malzemesi seçilmektedir. Malzeme listesi Alman DIN normuna göre isimlendirilmiş olup Sandvik 98 kataloğundakine uygun olarak sınıflandırılmıştır. Alaşımsız çelikler, düşük alaşımlı çelikler, yüksek alaşımlı çelikler ve dökme çelikler ISO P sınıfına dahildir ve mavi renk ile temsil edilmişlerdir. Paslanmaz çelikler, refraktör süper alaşımlar ve titanyum alaşımları ISO M sınıfına dahildir ve sarı renk ile temsil edilmişlerdir. Dökme demirler, sertleştirilmiş metaller ve alüminyum alaşımları ISO K sınıfına dahildir ve kırmızı renk ile temsil edilmişlerdir. Kullanıcı aşağı yukarı oklar yardımıyla listede gezinir ve seçtiği malzemenin hangi sınıfa dahil olduğunu ve malzeme hakkındaki açıklayıcı bilgileri görebilir. Seçilen malzemeye göre “uygulama” ve “kesici uç bilgisi” seçenekleri sınırlanmaktadır [11].

Kesici uç bilgisi: Günümüzde yaygın olarak kullanılan T-MAX P, T-MAX U ve T-MAX uç sistemlerinden birinden seçim yapılır.

Uygulama: Tornalama işlemleri seçilir. Seçilen malzemeye göre sınırlanmaktadır.

Ekonomik seçim: Bu seçenek işaretlendiğinde program, girilen veya hesaplanan kesici kenar ayar açısı ve yardımcı kesici kenar açısına uygun kesici takımları, fiyatta rol oynayan bağlama sistemlerine göre sınıflandırıp her bir sistemin en büyük uç açısına sahip katerlerini listeler. Sandvik'in Bağlama Sistemleri ucuzdan pahalıya doğru şöyle sıralanmaktadır.

1. S tipi (delikten vidalı bağlama)
2. C tipi (üstten bağlama(bastırma))
3. P tipi (delikten çekerek bağlama)
4. M tipi (hem üstten bastırarak hem içerden çekerek bağlama)
5. D tipi (hem üstten bastırarak hem içerden çekerek bağlama)

İşaretlenmezse parça geometrisine uygun tüm katerler listelenir. Program ekonomik seçimin her iki durumunda da en küçük boyutlu katerleri seçer.

Kaba işlemlerden en az biri işaretlenmişse kaba işlenecek şekil program tarafından oluşturularak kullanıcıya gösterildikten sonra uygun katerler ayrı bir pencerede listelenir. Herhangi bir kaba işlem seçilmemişse, kaba geometri oluşturulmayacağı için doğrudan uygun katerler listelenir. “GERİ” tuşu ile bir önceki sayfaya dönülür. “YARDIM” tuşu ile kullanıcıyı girdileri hakkında bilgiler bulunan sayfaya ekrana gelir. “TAMAM” tuşu ile bir sonraki adıma geçilir.

Katerler penceresi üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 11a). “KABA İŞLEMLER” yazısına basıldığında

kaba işlemler için seçilmiş katerlerin listesi yukarıdakine benzer biçimde görülebilir. Eğer kullanıcı girdileri penceresinden herhangi bir kaba işlem seçeneği seçilmemişse bu yazı pasif (gri renkte) olacaktır. Kater listesinde herhangi bir kater kliklendiğinde o kater ile ilgili bilgiler Sandvik 98 Kataloğundakine uygun olarak çerçeve içinde gösterilir. “GERİ” tuşu ile seçme işlemi sona erdirilerek ana menüye dönülür. Listeden herhangi bir kateri seçmek için istenen katerin üzerine çift kliklenir. Yeni bir pencere ile seçilen katre uygun uçlar listelenir.

Uçlar penceresi Şekil 11b’de gösterilmiştir. “Çok hassas” seçeneği kullanıcı girdileri penceresinden seçilmediği için bu seçenek pasiftir (gri renktedir). Katerler penceresinde olduğu gibi uçlar penceresinde de seçilen ucun katalogta mevcut bilgileri çerçeve içinde gösterilir. Listeden herhangi bir kesici ucun üzerine kliklendiğinde o ucun üretildiği kaliteler menünün sağ tarafında listelenir. Kullanıcı bu kaliteler hakkındaki bilgilere “UÇ KALİTELERİ” tuşuna tıklayarak ulaşabilir. Sandvik 98 kataloğundaki uç geometrileri ile ilgili bilgiler de “GEOMETRİLER” tuşu kliklenerek listelenebilir [11]. Eğer katerler penceresinden seçilen katre uygun uç veri tabanında bulunamamışsa uçlar penceresinden seçilen uca uygun kater “UYGUN KATER” tuşu kliklenerek listelenebilir. Hangi işlem için uç bulunamadığı mesaj penceresi ile kullanıcıya bildirilir. Bu olay genellikle uç ile kater arasında boyut farkı olan durumlarda gerçekleşir. Uygun uçlar listeleniyorsa “UYGUN KATER” tuşu pasiftir. “GERİ” tuşu ile katerler penceresine dönülür.

Uç seçme işlemi “SEÇ” tuşu ile yapılır (Şekil 11a). Bu tuşa basıldıktan sonra seçilen uç ayrı bir pencerede gösterilir. Seçilen uç ve katerlerin listelendiği pencere Şekil 12’de gösterilmiştir. “YAZDIR” tuşu ile seçilen takımlar, oluşturulan işparçası şekli ve boyutları yazıcıdan çıkartılabilir.

Hızlı seçim

Ana menüden “HIZLI SEÇİM” tuşu ile işparçası şekli oluşturulmadan takım seçmek mümkündür. Hızlı seçimde, kullanıcı girdileri penceresinde (Şekil 13) geometriye göre seçimde girilen değerlere ek olarak maksimum yaklaşma açısı, maksimum arka boşluk açısı ve kater yönü girilir. Kanal kalemi seçimi yaparken işlenecek maksimum derinlik ve istenen kater yönü girilir. Bunların dışındaki bütün parametreler pasif duruma geçer. Sonraki adımlar geometriye göre seçimdeki gibidir.

KATERLER

KABA İŞLEMLER ORTA VE HASSAS İŞLEMLER KANAL İŞLEMİ

SAG KATERLER

DCBNR 2525M12
DCLNR 2020K12
DDJNR 2020K11
DSBNR 2525M12
DTGNR 2020K16
MTENN 2525M22M1
MTGNNR 2525M22M1
MTJNR 2020K16M1

SOL KATERLER

DCBNL 2525M12
DCLNL 2020K12
DDJNL 2020K11
DSBNL 2525M12
DTGNL 2020K16
MTENN 2525M22M1
MTGNL 2525M22M1
MTJNL 2020K16M1

DSBNL 2525M12

Sistem : T-MAX P Eni : 25
Baglama Sistemi : D Uzunluğu : M
Uc sekli : S Kesme kenar uz. : 12
Tutucu stili : B Yaklaşma açısı Kr : 75
uc serbest açısı : N Arka boşluk açısı : 15
tutucu yönü : L Talaş açısı : -6
yükseklik : 25 Eğim açısı : -6

CIK GERI UÇ KALİTELERİ SEC

(a)

UCLAR

ORTA HASSAS ÇOK HASSAS UC KALİTELERİ

TNMG 16 04 04-PM

TNMG 16 04 08-PM
TNMG 16 04 12-PM
TNMG 22 04 04-PM
TNMG 22 04 08-PM
TNMG 22 04 12-PM
TNMG 22 04 16-PM

TNMG 16 04 04-PM

Sistem : T-MAX P Tipi : G
Geometri : PM Boyu : 16
Sekli : T Kalınlığı : 04
Uç serbest açısı : N Uç yarıçapı : 04
Tolerans : M

PROGRAM SONU GERI UYGUN KATER SEC GEOMETRİLER UC KALİTELERİ

(b)

Şekil 11. a) Katerler ve b) Uçlar penceresi

KULLANICI GİRDİLERİ

KESİCİ UÇ BİLGİSİ

☒ DIŞ/İÇ NEGATİF KESİCİ UÇ
☐ İÇ/ DİŞ POZİTİF KESİCİ UÇ
☐ SERAMİK

MALZEME :

Ck60
Ck55
C60
C153
Ck55
ALASIMSIZ ÇELİK

☐ EKONOMİK SECİM

UYGULAMA

☐ AZ KABA
☐ KABA ☒ ORTA ☐ HASSAS
☐ ÇOK KABA ☐ ÇOK HASSAS

GERI YARDIM TAMAM

Şekil 12. Seçilenler penceresi

KULLANICI GİRDİLERİ

KESİCİ UÇ BİLGİSİ

☒ DIŞ/İÇ NEGATİF KESİCİ UÇ
☐ İÇ/ DİŞ POZİTİF KESİCİ UÇ
☐ SERAMİK

MALZEME :

Ck60
Ck55
C60
C153
Ck55
ALASIMSIZ ÇELİK

☐ EKONOMİK SECİM

UYGULAMA

☐ AZ KABA
☐ KABA ☒ ORTA ☐ HASSAS
☐ ÇOK KABA ☐ ÇOK HASSAS

HIZLI SECME PARAMETRELERİ

☒ TORNALAMA KALEMİ SEC

Max Yaklaşma açısı : Kater yönü : SAG
Max. arka boşluk açısı :
☐ KANAL KALEMİ SEC
Max. Derinlik :

GERI YARDIM TAMAM

Şekil 13. Hızlı seçim için kullanıcı girdileri penceresi

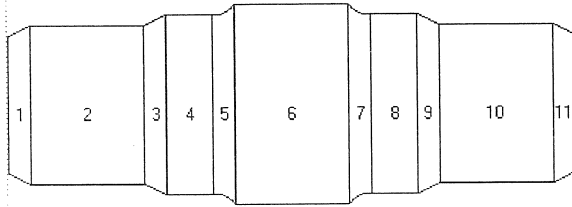
ÖRNEK UYGULAMA

Örnek uygulamada, Şekil 14a'daki işparçasını kaba orta ve hassas işleyebilmek için kater ve uç seçimi yapılmıştır. Seçimde ekonomi dikkate alınmıştır. İşparçası malzemesi olarak TiAl6V4ELI titanyum alaşımı seçilmiştir. Seçim dış/iç pozitif kesici takımlar (T-MAX P) arasından yapılmıştır.

1, 3, 6, 13 ve 17 nolu elemanlar uygun eğimli konik yüzeylere dönüştürülerek kaba işlemeye uygun hale getirilmiştir. Bu elemanlar orta ve hassas işlemlerde sol kater ile işlenecektir. 8 nolu eleman işlenirken sağ ve sol takım yüzeye yanaşamadığı için bu yüzeyin işlenebilmesi için program kanal kalemi seçimi yapmıştır. 8 nolu eleman kaba işlenirken 7 ve 9 nolu elemanların çapları dikkate alınarak kaba yüzey oluşturulmuştur.

BİTİMİŞ İŞ PARÇASI BOYUTLARI VE KULLANILACAK KATERLER VE UÇLAR

	Z1 (mm)	Z2 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	R (mm)
1.	0	4	13	15	0
2.	4	24	15	15	0
3.	24	28	15	17	0
4.	28	36	17	17	0
5.	36	40	17	19	4
6.	40	60	19	19	0
7.	60	64	19	17	4
8.	64	72	17	17	0
9.	72	76	17	15	0
10.	76	96	15	15	0
11.	96	100	15	13	0



Kater seçiminde ekonomi dikkate alınmadı

İş Parçası Malzemesi: 20MoCrS4 AZ ALASIMLI ÇELİK

ORTA ve HASSAS İŞLEMLER İÇİN KATERLER VE UÇLAR

Kater : DTG NR 2020K16	Uç(Orta): TNMG 16 04 04-PM 4015
Kater : DTG NR 2020K16	Uç(Hassas): TNMG 16 04 12-PF 1525
Kater : DTG NR 2020K16	Uç(Çok hassas): TNMG 16 04 04-QF 4015
Kater : DCLNL 2020K12	Uç(Orta): CNMG 12 04 08-PM 1525
Kater : DCLNL 2020K12	Uç(Hassas): CNMG 12 04 08-PF 1525
Kater : DCLNL 2020K12	Uç(Çok hassas): CNMG 12 04 12-QF 4015

(a)

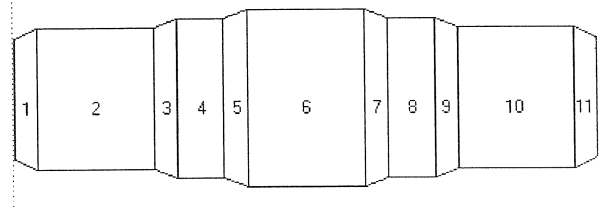
SONUÇ

Bu çalışmanın amacı dış yüzey tornalama işlemlerinde kaba, orta ve hassas işlemler için doğru kalem geometrilerini belirlemede kullanıcılara yardım etmektir. Bu amaçla Microsoft Access 95 programı yardımıyla Sandvik Coromant Kataloglarından silindirik, konik, iç bükey ve dış bükey işleme geometrilerine uygun kesici uç ve katerlerini içeren bir veri tabanı oluşturulmuştur. Geliştirilen yazılım Microsoft Visual Basic 5.0 programlama diliyle yazılmıştır.

Geliştirilen bir çizim programı yardımıyla ekrandan bilgi girişi yapılarak işparça geometrisi oluşturulmaktadır. İşparçası geometrisinin analizini takiben takımın kesme yönünün belirlenmesi, kanal kalemlerinin kullanılacağı yerlerin tespiti, takımlar

KABA OLARAK İŞLENECEK İŞ PARÇASI BOYUTLARI VE KULLANILACAK KATERLER VE UÇLAR

	Z1 (mm)	Z2 (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	R (mm)
1.	0	4	13,04907	15	0
2.	4	23,89939	15	15	0
3.	23,89939	28	15	17	0
4.	28	35,89939	17	17	0
5.	35,89939	40	17	19	0
6.	40	60	19	19	0
7.	60	64	19	17	0
8.	64	72	17	17	0
9.	72	76	17	15	0
10.	76	96	15	15	0
11.	96	100	15	13	0



Kater seçiminde ekonomi dikkate alınmadı

İş Parçası Malzemesi: 20MoCrS4 AZ ALASIMLI ÇELİK

KABA İŞLEMLER İÇİN KATERLER VE UÇLAR

Kater : DDJNR 2020K15	Uç(Az kaba): DNMG 15 06 16-PR 4015
Kater : DDJNR 2020K15	Uç(Kaba): DNMM 15 06 08-PR 4015

(b)

Şekil 14. Örnek Çıktı. a. Bitmiş işparçası, b. Kaba olarak işlenecek işparçası

için uygun aç ve ölçülerin hesabı yapılmaktadır. Kaba işleme takımlarının seçimi için geliştirilen bir yaklaşımla işparçalarının kaba formu oluşturulmakta ve bu yeni geometri esas alınarak takım seçimi yapılmaktadır. Ayrıca işparçası geometrisi oluşturulmaksızın kullanıcı tarafından girilen parametrelere uygun uç ve kater seçimi de yapılabilmektedir. Kullanıcıya sunulan takımlar ekonomiklik açısından en küçük boyutlu olanlardan seçilmektedir. Bunun yanında kesici ucun bağlanma biçimine ve sistemine göre de seçenekler sınıflandırılmıştır.

Yapılan bu çalışma aşağıdaki hususlar doğrultusunda daha da geliştirilebilir:

1. Dış açma, tırtıl çekme, delik işleme, delik delme vs. gibi daha ayrıntılı parça geometrileri eklenebilir.
2. Uç kalitelerinin seçimi otomatikleştirilebilir.
3. Malzeme işleme hızı ve diğer gerekli bilgiler programa girilerek işlem süresi, takım ömrü, maliyet gibi performans verileri elde edilebilir.
4. Ekonomik seçimin kapsamı genişletilebilir. Örneğin, kesici kenar sayısı fazla olan uçların az olanlara ve iki yüzü de kullanılabilen uçların tek yüzü kullanılanlara tercihi yaptırılabilir.

COMPUTER AIDED TOOL HOLDER AND INSERT SELECTION IN EXTERNAL TURNING OPERATIONS

In this study, a software is developed to select the tool holders and the inserts for turning operations of external surfaces. The workpiece geometry is formed by adding primitive geometries on each other. Workpiece material, tooling system and application information are used to calculate the suitable cutting tool angles for the constructed workpiece geometry.

The software uses the calculated tool angles for selecting the cutting tools. Some geometrical modifications are made on the finished workpiece geometry to convert it into a suitable form for roughing operations. The roughing tools are selected in accordance with the modified geometry of the workpiece. The software is developed by using Microsoft Visual Basic 5.0 programming language. It utilises a database created in Microsoft Access 95 containing information in the Sandvik Coromant 1998 Tools Catalogue for Turning.

Keywords: External Turning, Cutting Tool Selection.

KAYNAKÇA

1. Saygın, C., *A Rule Based Approach in Sequencing Machining Operations for Rotational Parts*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 1992.
2. Saygın, C. ve Eskicioğlu, H., *Integrated Rule Based Process Planning System for Rotational Components*, *Int. Conf. on Engineering Software (ICES)*, UK, 2-9, 1993.
3. Shafiq, M. S., Saygın, C. ve Eskicioğlu, H., *Dönel Parçalar için Nesneye Yönelik bir Ürün Modelleme Sistemi*, 6. UMTİK Kongresi, Ankara, 13-20, 1994.
4. Chen, S. J., Hinduja, S., *Checking for Tool Collision in Turning*, *Computer-Aided Design*, 20, (1983) 5, 281-289.
5. Chen, S. J., Hinduja, S., Barrow, G., *Automatic Tool Selection for Rough Turning Operations*, *Int. J. Mach. Tools Manufact.*, 29, (1989) 1, 535-553.
6. Tokuroğlu, N. T. ve Anlağan, Ö., *Turnbase 1.0: Tornalama İşlemleri için Hazırlanan Genel Amaçlı bir İşlenebilirlik Veritabanı Sistemi Yazılımı Tanıtımı ve Gösterimi*, 5. UMTİK, 103-111, ODTÜ, 1992.
7. Günel, E. ve Çoğun, C., *Cutting Tool Selection by Using 'Microsoft Access' Database Software*, *33rd Int. MATADOR Conf.*, 125-130, Manchester, 2000.
8. Ashraf, N., *Automatic Tool Selection and Production Routing Generation for Rotational Parts*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Ankara, 1994.
9. ISO 1832, *Standart for Cutting Tool Inserts*, 1985.
10. TSE, *TS 3712 Kesici Aletler - Açılar Genel Terimler ve Referans Sistemleri*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1982.
11. *Sandvik Coromant Turning Tools Catalogue*, AB Sandvik International, İsveç, 1998.
12. Oktay, D., *Microsoft Access*, Pusula Yayıncılık ve İletişim Ltd., İstanbul, 1997.
13. Yanık, M., *Microsoft Access*, Beta Basım Yayımları Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1997.
14. Fleming, V. H., *Handbook of Relational Database Design*, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.
15. Uysal, M., *Visual Basic 5.0 ile İleri Uygulamalar*, Beta Basım Yayımları Dağıtım A.Ş., İstanbul, 1997.

(SQL 1) select [entering angle kr]+[end cutting edge angle] as toplam,* from tutucu222 where (((tutucu222.system)="" & sistem8 & "")) and ((tutucu222.[insert shape])<>"" & vtipi & "") and ((tutucu222.[entering angle kr])>" & yakaci & ") and ((tutucu222.[end cutting edge angle])>" & arkaci & ") and (((tutucu222.[hand of tool])="" & hoft & "") or ((tutucu222.[hand of tool])="" & nor & "")) and ((tutucu222.[-x-z])="" & egik & ""))

(SQL 2) select [entering angle kr]+[end cutting edge angle] as toplam,* from tutucu222 where (((tutucu222.system)="" & sistem8 & "")) and ((tutucu222.[insert shape])<>"" & vtipi & "") and ((tutucu222.[entering angle kr])>" & yakaci & ") and ((tutucu222.[end cutting edge angle])>" & arkaci & ") and (((tutucu222.[hand of tool])="" & hoft & "") or ((tutucu222.[hand of tool])="" & nor & "")) and ((tutucu222.[-z])="" & duz & ""))

(SQL 3) select [entering angle kr]+[end cutting edge angle] as toplam,* from tutucu222 where (((tutucu222.system)="" & sistem8 & "")) and ((tutucu222.[entering angle kr])>" & yakaci & ") and ((tutucu222.[end cutting edge angle])>" & arkaci & ") and (((tutucu222.[hand of tool])="" & hoft & "") or ((tutucu222.[hand of tool])="" & nor & "")) and ((tutucu222.[-x-z])="" & egik & ""))

(SQL 4) select [entering angle kr]+[end cutting edge angle] as toplam,* from tutucu222 where (((tutucu222.system)="" & sistem8 & "")) and ((tutucu222.[entering angle kr])>" & yakaci & ") and ((tutucu222.[end cutting edge angle])>" & arkaci & ") and (((tutucu222.[hand of tool])="" & hoft & "") or ((tutucu222.[hand of tool])="" & nor & "")) and ((tutucu222.[-z])="" & duz & ""))

(SQL 5) select distinct [clamping system]+[insert shape]+[holder style]+[insert clearance angle] as expr2, ([entering angle kr]+[end cutting edge angle]) as expr1, aqw01.[clamping system], aqw01.[insert shape], aqw01.[holder style], aqw01.[insert clearance angle], [hand of tool], min(aqw01.shank_height) as minofshank_height, min(aqw01.[shank width]) as [minofshank width], min(aqw01.[tool length]) as [minoftool length], min(aqw01.[cutting edge length]) as [minofcutting edge length] from aqw01 group by ([entering angle kr] + [end cutting edge angle]), aqw01.[clamping system], aqw01.[insert shape], aqw01.[holder style], aqw01.[insert clearance angle], aqw01.[hand of tool] order by ([entering angle kr]+[end cutting edge angle])

(SQL 6) select distinctrow aqw01.[clamping system], min(aqw01.toplam) as minoftoplam, min(aqw01.shank_height) as minofshank_height1, min(aqw01.[shank width]) as [minofshank width1], min(aqw01.[tool length]) as [minoftool length1], min(aqw01.[cutting edge length]) as [minofcutting edge length1] from aqw02 inner join aqw01 on aqw02.[clamping system] = aqw01.[clamping system] group by aqw01.[clamping system]

(SQL 7) select distinctrow aqw01.[order code], aqw01.system, aqw01.[clamping system], aqw01.[insert shape], aqw01.[holder style], aqw01.[insert clearance angle], aqw01.[hand of tool], aqw01.shank_height, aqw01.[shank width], aqw01.[tool length], aqw01.[cutting edge length], aqw01.[entering angle kr], aqw01.[end cutting edge angle], aqw01.[rake angle], aqw01.[angle of inclination], aqw01.[-x], aqw01.x, aqw01.[-z], aqw01.z, aqw01.[-x-z], aqw01.[-xz] from (aqw03 inner join aqw02 on (aqw03.[clamping system] = aqw02.[clamping system]) and (aqw03.minoftoplam = aqw02.expr1)) inner join aqw01 on (aqw02.[minofcutting edge length] = aqw01.[cutting edge length]) and (aqw02.[minoftool length] = aqw01.[tool length]) and (aqw02.[minofshank width] = aqw01.[shank width]) and (aqw02.minofshank_height = aqw01.shank_height) and (aqw02.[hand of tool] = aqw01.[hand of tool]) and (aqw02.[insert clearance angle] = aqw01.[insert clearance angle]) and (aqw02.[holder style] = aqw01.[holder style]) and (aqw02.[insert shape] = aqw01.[insert shape]) and (aqw02.[clamping system] = aqw01.[clamping system])

(SQL 8) select distinctrow [system rec].system, malz.din, uc.geometry, [system rec].application, uc.[order code], uc.[insert shape], uc.[ins clearance angle], uc.tolerance, uc.[insert type], uc.[insert size], uc.[insert thickness], uc.[nose radii] from (malz inner join [system rec] on malz.[cmc yakin] = [system rec].[cmc yakin]) inner join uc on ([system rec].[basic chamfer] = uc.[basic chamfer]) and ([system rec].geometry = uc.geometry) and ([system rec].system = uc.system) where ((([system rec].system)="" & sistem8 & "")) and ((malz.din)="" & malzeme8 & "") and ((([system rec].application)="" & uygulama8 & "")) and ((uc.[insert shape])="" & ucsekli & ""))

(SQL 9) select * from kesiciler_tutucu where(((holder type)= 'f151_23') or (holder type)= 'f151_22')) and (hot = "" & hoft & "") and ((kesiciler_tutucu.[seat size]) > " & turn & ") and (ar > " & maxrar & "") (SQL 10) select * from kesiciler_tutucu where(((kesiciler_tutucu.ar) > " & maxrar & ") and ((kesiciler_tutucu.hot) = "" & hoft & ""))

(SQL 11) select distinctrow kesici_uc.[order code], kesici_uc.process, kesici_uc.hot, kesici_uc.[holder type], kesici_uc.la, kesici_uc.re, kesici_uc.[seat size], kesici_uc.[insert type], kesici_uc.alfapf, kesici_uc.gamar from kesici_uc inner join kesiciler_tutucu on kesici_uc.[seat size] = kesiciler_tutucu.[seat size] where (((kesiciler_tutucu.[order code])="" & tut & "")) and (kesici_uc.process="" & pro & ""))

(SQL 12) select * from blok where ar > " & MAXblok & "

(SQL 13) select * from blade where(((blade.ar) > " & maxblok & ""))

(SQL 14) select kesici_uc.[order code], kesici_uc.process, kesici_uc.hot, kesici_uc.[holder type], kesici_uc.la, kesici_uc.re, kesici_uc.[seat size], kesici_uc.[insert type], kesici_uc.alfapf, kesici_uc.gamar from blade inner join kesici_uc on blade.[seat size] = kesici_uc.[seat size] where (((blade.[order code])="" & tut & "")) and (kesici_uc.process='grooving'))

İnce Kesitli Bir Kanal İçerisindeki Akımın İncelenmesi için $2\frac{1}{2}$ -Boyutlu Formülasyon

Gülşen Yaman

Yardımcı Doçent Dr.

Mehmet İren

Yardımcı Doçent Dr.

Balıkesir Üniversitesi,

Mühendislik-Mimarlık

Fakültesi

BALIKESİR

İnce kesitli kanallardaki akışkan akımının doğru analiz edilmesi endüstriyel açıdan oldukça önem taşımaktadır. Böyle bir kanal içerisindeki akışkan akımının analizini üç-boyutlu olarak yapmak en doğru sonucu verecektir. Ancak böyle bir modeli üç-boyutlu incelemek genellikle çok karmaşık ve güçtür. Dolayısıyla bu analizin sonuçlarını elde etmek için ihtiyaç duyulan bilgisayar gücü ve zamanı çok pahalı olacaktır. Böyle bir model, bazı kabuller yapılarak mümkün mertebe basitleştirilmelidir ya da iki-boyuta indirgenmelidir. Bu çalışmada, Navier-Stokes denklemleri üç-boyutlu yerine üçüncü boyut olan z-doğrultusunda kanalın h kalınlığı boyunca entegrali alınarak $2\frac{1}{2}$ - boyuta indirgenerek yeniden düzenlenmiştir. Bu, hesaplamada belirli bir tasarrufu sağlar, örneğin $[u,v,w]$ gibi uzaysal hız bileşenlerinden biri indirgenerek $[\bar{u},\bar{v}]$ şeklinde düzlemsel ortalama hızlara dönüşür. Bu düzenlemede parabolik ve düz olmak üzere iki farklı hız profili kullanılarak iki değişik formülasyon elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: İnce Kesitli Kanal, Navier-Stokes Denklemi, $2\frac{1}{2}$ -Boyut.

GİRİŞ

İnce kesitli kanallarda akışkanların bilgisayar ortamında analizi ve bunların uygulaması endüstriyel açıdan oldukça önemlidir. Endüstride dökümle üretilen birçok parça ince kesitli geometriye sahip olduğundan üretimleri daha fazla hassasiyet ve teknoloji gerektirir. Örneğin, güncel modern teknolojik gelişme, üretim masraflarını azaltmaya, malzeme kullanımını optimize etmeye yönelmiştir. Bu nedenle otomobil sanayiindeki birçok parçanın (silindir kapakları, bloklar, manifoldlar, yağ karteri vb.) kalınlıkları 2-6 mm'ye kadar düşürülmüş ve bu şekilde daha ince kesitli parça tasarımı yapılarak potansiyel tasarruflar sağlanmıştır [1,2]. Çalışmanın izleyen bölümlerinde böyle bir çalışma için gerekli olan denklemlerin türetilmesi ve incelemesi yer almaktadır.

Bir boşluk içerisindeki akışkanın hareketini belirlerken, bu akışkanın basınç ve hız dağılımlarından yararlanılır. Basınç ve hız dağılımları kütlenin ve momentumun korunumu kanunlarına göre kurulmakta ve buradaki hız ve basınç değişkenleri basit değişkenler olarak adlandırılmaktadır. Ayrıca bunlar literatürlerde

akışkan akımı modellerini temsil etmek için sıkça kullanılmaktadır [3-10].

Birçok kaynakta [3-6] Navier-Stokes denklemleri olarak bilinen momentum denklemleri, süreklilik denklemleriyle birlikte basit değişkenleri belirlemekte kullanılmışlardır. Basit değişkenlere ait formülasyonun kullanılmasının bir avantajı hem laminar hem de türbülanslı akımlarda rahatlıkla kullanılabilir olmasıdır [11-14].

Süreklilik denklemi, kütlenin korunumu esasına dayalı olarak türetilmiş olup sıkıştırılamayan bir akışkan için bu denklem,

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0 \quad (1)$$

şeklidir. Burada $\mathbf{u} = [u, v, w]$ hız vektörüdür.

Sıkıştırılamayan Newtoniyen bir akım için Navier-Stokes denkleminin genel diferansiyel eşitliğini vektörel biçimde,

$$\rho \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma} + \rho \mathbf{g} \quad (2)$$

yazmak mümkündür. Burada t zamanı, ρ yoğunluğu, g ağırlık kuvveti terimlerini yani yerçekimi ve elektromanyetik kuvvetleri temsil eder. σ gerilme tensörü olup, bütün normal ve kayma gerilmesi bileşenlerinden oluşur. Gerilme tensörü σ ,

$$\sigma = -p\mathbf{I} + \tau \quad (3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Burada p , τ ve $\mathbf{I}$ sırası ile termodinamik basınç, viskoz gerilme tensörü ve özdeşlik tensörüdür. Buna göre dinamik viskozite μ 'nün ilavesiyle Newtoniye bir akışkanın gerilme tensörü,

$$\tau = \mu [\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T] \quad (4)$$

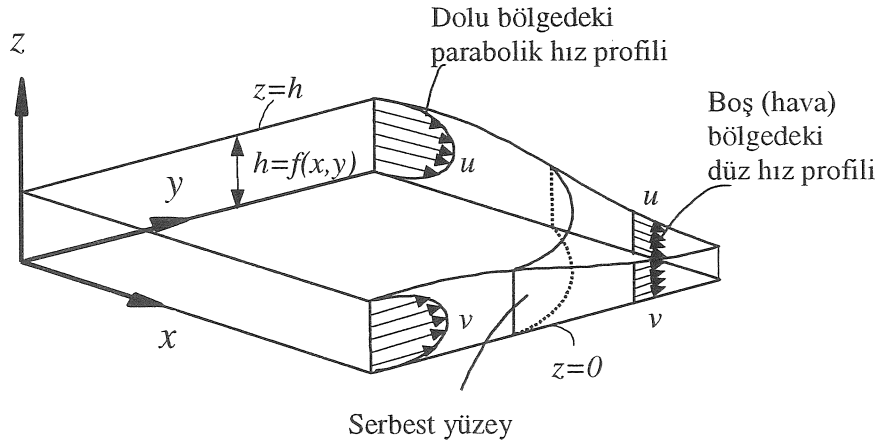
şeklinde tanımlanır.

Akım problemlerinin çözümünde genellikle iki tip sınır şartı kullanılmaktadır. Bunlar kapalı bir sınır boyunca tanımlanabilen Neumann (doğal) ve Dirichlet (zorunlu) sınır şartlarıdır. Dirichlet sınır şartı, sınırlar üzerinde belirli noktalarda hızların tanımlanmasından ibarettir. Neumann şartı da

sınırlar boyunca tanımlanan gerilme bileşenlerini veya çekmeleri (tractions) içerir.

DENKLEMLERİN TÜRETİLMESİ

İnce kesitli bir boşluktaki laminar akım için, genellikle kalınlık doğrultusunda büyük boyutlarda bir akım gerçekleşmez. Dolayısıyla düzlemsel doğrultuda hız profilleri ya parabolik ya da düz bir dağılım şeklinde gerçekleşir. Parabolik hız dağılımının olduğu bir durum, çok büyük ve duran iki paralel levha arasındaki laminar bir akım gibi ele alınarak incelenebilir. Böyle bir dağılımda boşluğun alt ve üst yüzeylerinde kayma şartı söz konusu değildir. Düz hız profilinin ele alındığı durum için ise alt ve üst yüzeylerde kaymaya izin verilir. Örnek vermek gerekirse yüksek viskoziteli bir akışkan, yüzeylerde yapışmaya sebep olacağından parabolik bir hız profili oluşumuna sebep olacaktır. Hava gibi düşük viskoziteli bir akışkan ise yüzeylerdeki kaymadan dolayı düz bir hız profili oluşturacaktır. Şekil 1'de böyle bir akıma ait her iki hız profilleri görülebilir.



Şekil 1. İnce kesitli bir kanal içersindeki akım

Bu çalışmada sunulan formülasyon, dar bir kanal içersindeki Poiseuille akımına [14] benzetilerek hız profilinin analizi üzerine kurulmuştur. Ele alınan akım viskoz, sıkıştırılamayan ve Newtoniye bir akımdır. Kanalın alt ve üst yüzeyleri arasındaki mesafe h olup x veya y 'ye bağlı olarak değişmektedir. Kalınlık doğrultusunda bir akım olmadığı ($w=0$) gibi basınç gradyenti de yoktur. Alt ve üst yüzeylerde kayma şartının olmadığı kabul edilerek akışkanın boşluk içersindeki hız profili parabolik dağılım şeklinde verilebilir [15]. Bu hızın ortalama değer olarak ifadesi,

$$\mathbf{u}(z) = 6\bar{\mathbf{u}} \left[\left(\frac{z}{h} \right) - \left(\frac{z}{h} \right)^2 \right] \quad (5)$$

şeklinde dir. Burada $\mathbf{u} = [u, v, w]$ gerçek hız vektörü, $\bar{\mathbf{u}} = [\bar{u}, \bar{v}, 0]$ ortalama hız vektörüdür. h akışkanın hareket ettiği boşluğun kalınlığı olup $h=f(x,y)$ şeklindedir. Alt ve üst yüzeylerde kaymaya izin verilen düz hız profili için hız ifadesi basitçe,

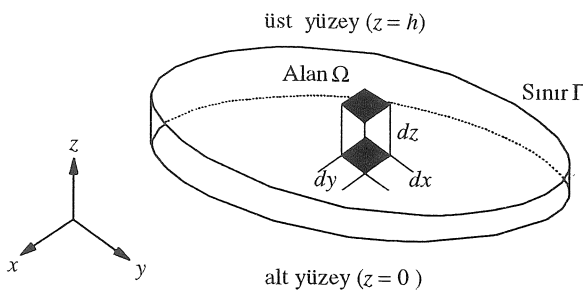
$$\mathbf{u}(z) = \bar{\mathbf{u}} \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada temel denklemler olan süreklilik denklemi ve Navier-Stokes denklemi z-doğrultusunda h kalınlığı boyunca integre edilecektir [16]. Bu da kalınlığın ilave edildiği formülasyon olarak isimlendirilecektir.

Fomülasyonun oluşturulmasında başlangıç olarak hiçbir terim ihmal edilmemiştir. Ancak konuya yönelik seçilen örneklerle ilgili olarak kararlı hal koşullarında zamana bağlı terimler ihmal edilebilmektedir. Farklı uygulamalarda zamana bağlı terimler ve ilave denklemler (serbest yüzeyin takibi için kullanılan denklemler) kaynak [17]'de dikkate alınmaktadır.

Kütlenin Korunumu

Şekil 2 de görüldüğü gibi $dx dy dz$ şeklinde sonsuz küçük bir akışkan elemanı göz önüne alınsın.



Şekil 2. İnce kesitli boşluk içerisindeki sonsuz küçük bir eleman

Bir elemandaki kütlenin korunumu prensibini kalınlık doğrultusundaki hız bileşenini $w = 0$ alarak,

$$\left[\rho u + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u) dx - \rho u \right] dy + \left[\rho v + \frac{\partial}{\partial y} (\rho v) dy - \rho v \right] dx = - \frac{\partial}{\partial t} \rho dx dy \quad (7)$$

şeklinde yazmak mümkündür. Bu ifade sadeleştirildikten sonra z-yönü boyunca integre edilirse (ρ yoğunluğu z-doğrultusu boyunca sabit),

$$\left[\frac{\partial}{\partial t} \int_0^h (\rho dz) \right] dx dy + \left[\frac{\partial}{\partial x} \int_0^h (\rho u) dz \right] dx dy + \left[\frac{\partial}{\partial y} \int_0^h (\rho v) dz \right] dx dy = 0 \quad (8)$$

şeklinde ifade edilir. Tablo 1'de hız terimleri için kalınlığın integre edildiği tüm ifadeler listelenmiştir. Buna göre bu ifadenin her iki tarafı $dx dy$ alanına bölündüğünde,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \frac{\partial}{\partial x} (\rho h \bar{u}) + \frac{\partial}{\partial y} (\rho h \bar{v}) = 0 \quad (9)$$

Tablo 1. Çeşitli hız ifadelerinin integralleri

İntegral İfadesi	Parabolik hız profili (5)	Düz hız profili (6)
$\int_0^h \mathbf{u} dz$	$h \bar{\mathbf{u}}$	$h \bar{\mathbf{u}}$
$\int_0^h \nabla \cdot \mathbf{u} dz$	$\nabla \cdot (h \bar{\mathbf{u}})$	$\nabla \cdot (h \bar{\mathbf{u}})$
$\int_0^h \nabla \mathbf{u} dz$	$\nabla (h \bar{\mathbf{u}})$	$\nabla (h \bar{\mathbf{u}})$
$\int_0^h \mathbf{u} \mathbf{u} dz$	$\frac{6}{5} h \bar{\mathbf{u}} \bar{\mathbf{u}}$	$h \bar{\mathbf{u}} \bar{\mathbf{u}}$
$\int_0^h (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} dz$	$\frac{6}{5} h (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}}$	$h (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}}$

eşitliği elde edilir. Bu ifadenin vektörel formu,

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot (\rho h \bar{\mathbf{u}}) = 0 \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. Bu ifade iki tip hız profili için de aynı olup kalınlığın ilave edildiği süreklilik denklemi olarak tanımlanabilir.

Sıkıştırılamaz akım için zamana bağlı türev ifadesi ile yoğunluğun yere ve zamana göre değişimi ihmal edilebilir. Buna göre kalınlığın ilave edildiği süreklilik denklemi aşağıdaki ifadeye dönüşür.

$$\nabla \cdot h \bar{\mathbf{u}} = 0 \quad (11)$$

Momentumun Korunumu

Newton'un ikinci hareket kanunu temel alınarak momentumun korunumu şu şekilde tarif edilebilir: Bir V hacmine etkiyen F dış kuvvetler toplamı, hacim yüzeyi S boyunca akan net lineer momentum miktarı ile hacim içerisindeki lineer momentumun zamana göre değişim miktarının toplamına eşittir. Buna göre momentumun korunumu,

$$\sum \mathbf{F} = \oint_S \rho \mathbf{u}(\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS + \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho \mathbf{u} dV \quad (12)$$

şeklinde ifade edilir. (12) eşitliğindeki her bir terim aşağıda ayrı ayrı açıklanmıştır.

a) Dış Kuvvetlerin Toplamı

Dış kuvvetler toplamını ağırlık ve yüzey kuvvetleri olmak üzere iki farklı kuvvetin toplamı şeklinde ele almak mümkündür. Buna göre bu toplam,

$$\sum \mathbf{F} = \sum \mathbf{F}_\sigma + \sum \mathbf{F}_b \quad (13)$$

şeklinde yazılır. Burada $\mathbf{F}_\sigma$ normal ve kayma gerilmelerinden dolayı etki eden yüzeysel dış kuvvetler, $\mathbf{F}_b$ ağırlık kuvvetleridir.

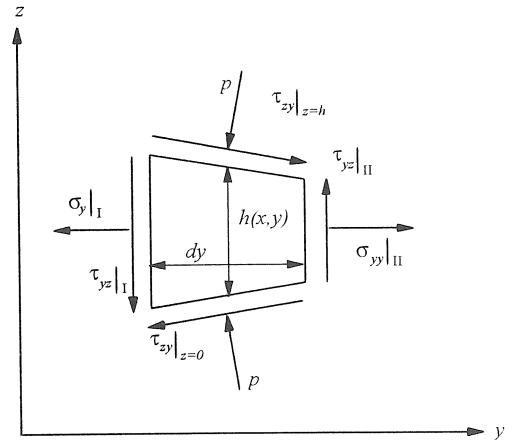
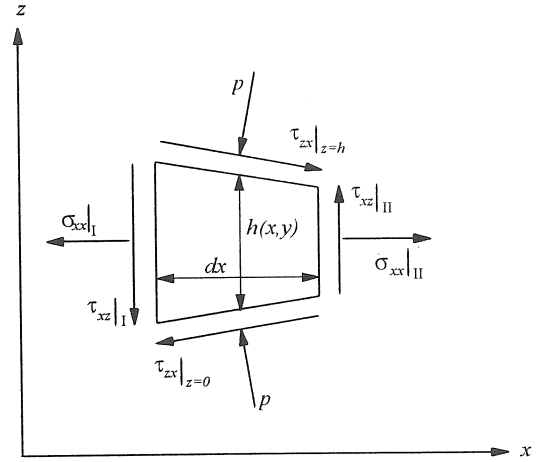
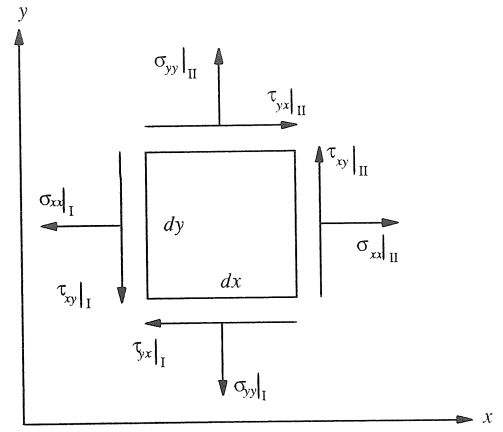
Şekil 3'e göre x -doğrultusundaki kuvvetlerin toplamı şöyle yazılabilir:

$$\begin{aligned} \sum F_x = & [\sigma_{xx}|_{II} - \sigma_{xx}|_I] dydz + [\tau_{yx}|_{II} - \tau_{yx}|_I] dx dz \\ & + [\tau_{zx}|_{II} - \tau_{zx}|_I] dx dy + p dydz + g_x \rho dx dy dz \quad (14) \end{aligned}$$

Bu ifade daha geniş olarak tekrar yazılacak olursa,

$$\begin{aligned} \sum F_x = & \left[\sigma_{xx} + \left(\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} dx \right) - \sigma_{xx} \right] dydz \\ & + \left[\tau_{yx} + \left(\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} dy \right) - \tau_{yx} \right] dx dz \\ & + \left[\tau_{zx} + \left(\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} dz \right) - \tau_{zx} \right] dx dy \\ & + p dydz + g_x \rho dx dy dz \quad (15) \end{aligned}$$

şeklinde bir eşitlik elde edilir. Burada g_x yerçekimi ivmesinin x -doğrultusundaki bileşenidir. Gerekli sadeleştirmeler yapılarak ve enine akımın olmadığı ($w=0$) kabul edilerek Newtoniye bir akım için σ gerilme tensörü Şekil 3'de görüldüğü gibi,



Şekil 3. Sonsuz küçük bir elemana etki eden kuvvetler

$$\sigma \equiv \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} -p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} & \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & \mu \frac{\partial u}{\partial z} \\ \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) & -p + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} & \mu \frac{\partial v}{\partial z} \\ \mu \frac{\partial u}{\partial z} & \mu \frac{\partial v}{\partial z} & -p \end{bmatrix} \quad (16)$$

şeklinde yazılabilir. (16) denklemindeki gerilme değerleri (15) eşitliğinde yerine yazılarak her bir terimin h kalınlığı boyunca integrali alınır. Daha sonra sonuç $dx dy$ alanına bölünerek eleman boyutları sıfıra yaklaştırılır. Elde edilen ifade,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\sum F_x}{dx dy} = \int_0^h \frac{\partial}{\partial x} \left(-p + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \right) dz$$

$$+ \int_0^h \frac{\partial}{\partial y} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) dz$$

$$+ \int_0^h \frac{\partial}{\partial z} \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right) dz + p \int_0^h \frac{\partial v}{\partial x} dz + \int_0^h g_x \rho dx dy dz \quad (17)$$

şeklini alır. Tablo 1 deki integral ifadelerinin kullanılmasıyla,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\sum F_x}{dx dy} = \frac{\partial}{\partial x} \left(-hp + 2\mu \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{u}) \right)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \left(\frac{\partial}{\partial y} (h\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{v}) \right) \right) - 12\mu \frac{\bar{u}}{h}$$

$$+ \rho h g_x + p \frac{\partial h}{\partial x} \quad (18)$$

ifadesi elde edilir. Benzer şekilde y -doğrultusundaki dış kuvvetler toplamı da,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\sum F_y}{dx dy} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu \left(\frac{\partial}{\partial y} (h\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{v}) \right) \right) +$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(-hp + 2\mu \frac{\partial}{\partial y} (h\bar{v}) \right) - 12\mu \frac{\bar{v}}{h} + \rho h g_y + p \frac{\partial h}{\partial y} \quad (19)$$

şeklinde yazılabilir. Ayrıca bu eşitlikleri aşağıdaki gibi vektörel formda yazarak daha genel ifade etmek mümkündür.

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\sum \mathbf{F}}{dx dy} = -h \nabla p + \nabla \cdot \mu \left[\nabla (h\bar{\mathbf{u}}) + (\nabla (h\bar{\mathbf{u}}))^T \right]$$

$$- 12\mu \frac{\bar{\mathbf{u}}}{h} + \rho h \mathbf{g} \quad (20)$$

Burada bütün değişkenler aynı anlamları taşımakta olup, p , μ , ve g sırasıyla termodinamik basınç, dinamik viskozite ve yerçekimi ivmesini tanımlar. Diğer yandan düz hız profili için dış kuvvetlerin limit ifadesi,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\sum \mathbf{F}}{dx dy} = -h \nabla p$$

$$+ \nabla \cdot \mu \left[\nabla (h\bar{\mathbf{u}}) + (\nabla (h\bar{\mathbf{u}}))^T \right] + \rho h \mathbf{g} \quad (21)$$

eşitliği ile yazılabilir. Burada (20) ve (21)

eşitliklerindeki $\nabla \cdot \mu \left[\nabla (h\bar{\mathbf{u}}) + (\nabla (h\bar{\mathbf{u}}))^T \right]$ terimini

$\nabla \cdot h \bar{\boldsymbol{\tau}} + \nabla \cdot \mu \left[\bar{\mathbf{u}} \nabla h + (\bar{\mathbf{u}} \nabla h)^T \right]$ şeklinde de yazmak mümkündür.

b) Net Momentum Akısı

Şekil 2 görülen sonsuz küçük eleman için Şekil 4 deki lineer momentum göz önüne alınarak ve kalınlık doğrultusunda akımın olmadığı ($w=0$) kabul edilerek Şekil 4 de gösterilen eleman boyunca net momentum akısı,

$$\oint_S \rho \mathbf{u} (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS = \left[\rho \mathbf{u} u + \frac{\partial}{\partial x} (\rho \mathbf{u} u) dx - \rho \mathbf{u} u \right] dy$$

$$+ \left[\rho \mathbf{u} v + \frac{\partial}{\partial y} (\rho \mathbf{u} v) dy - \rho \mathbf{u} v \right] dx \quad (22)$$

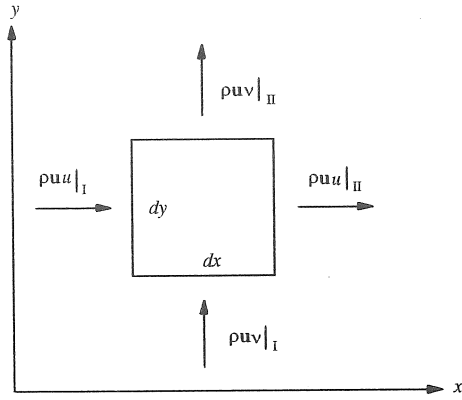
şeklinde dir. Gerekli sadeleştirmeler yapıldıktan sonra her bir terimin h kalınlığı boyunca integrali alınır,

$$\oint_S \rho \mathbf{u} (\mathbf{u} \cdot \mathbf{n}) dS = \int_0^h \left(\frac{\partial}{\partial x} (\rho \mathbf{u} u) dz \right) dx dy$$

$$+ \int_0^h \left(\frac{\partial}{\partial y} (\rho \mathbf{u} v) dz \right) dx dy \quad (23)$$

şeklinde bir ifade elde edilir. Tablo 1'deki integral değerlerinin kullanılmasıyla ve eleman boyutlarının sıfıra yaklaşmasıyla parabolik hız profili için yukarıdaki eşitliğin limit ifadesi şöyle yazılabilir:

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\int_S \rho \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS}{dxdy} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{6}{5} \rho h \bar{u} \bar{u} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{6}{5} \rho h \bar{u} \bar{v} \right) \quad (24)$$



Şekil 4. Sonsuz küçük eleman boyunca momentum akısı

Sıkıştırılabilir akışkan için (24) eşitliği daha genel olarak yazılacak olursa,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\int_S \rho \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS}{dxdy} = \frac{6}{5} \rho h (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} \quad (25)$$

eşitliğine indirgenir. Benzer olarak düz hız profili için limit ifadesi,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\int_S \rho \mathbf{u} \cdot \mathbf{n} dS}{dxdy} = \rho h (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} \quad (26)$$

şeklindedir.

c) Momentumun Zamana Göre Değişim Miktarı

Elemandaki momentumun zamana göre değişim miktarı aşağıdaki şekilde direkt olarak incelenebilir.

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \mathbf{u} dV}{dxdy} = \frac{\partial}{\partial t} \left(\int_0^h \rho \mathbf{u} dz \right) dxdy = \frac{\partial}{\partial t} (\rho h \bar{\mathbf{u}}) \quad (27)$$

Sıkıştırılabilir akışkan için (27) denklemi,

$$\lim_{dx, dy \rightarrow 0} \frac{\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho \mathbf{u} dV}{dxdy} = \rho h \frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} \quad (28)$$

şekline indirgenir.

Yukarıda elde edilen ifadelerin, (12) eşitliğinde yerine yazılmasıyla Navier-Stokes denkleminin yeniden düzenlenmiş hali elde edilebilir. Böylece parabolik hız profilinin kullanılmasıyla elde edilen kalınlığın ilave edildiği Navier-Stokes denklemi,

$$\rho h \left\{ \frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + \frac{6}{5} (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} \right\} = -h \nabla p + \nabla \cdot h \bar{\boldsymbol{\tau}} + \nabla \cdot \mu [\bar{\mathbf{u}} \nabla h + (\bar{\mathbf{u}} \nabla h)^T] + \rho h g - 12\mu \frac{\bar{\mathbf{u}}}{h} \quad (29)$$

ve düz hız profilinin kullanıldığı formülasyon için,

$$\rho h \left\{ \frac{\partial \bar{\mathbf{u}}}{\partial t} + (\bar{\mathbf{u}} \cdot \nabla) \bar{\mathbf{u}} \right\} = -h \nabla p + \nabla \cdot h \bar{\boldsymbol{\tau}} + \nabla \cdot \mu [\bar{\mathbf{u}} \nabla h + (\bar{\mathbf{u}} \nabla h)^T] + \rho h g \quad (30)$$

elde edilir. Burada $\bar{\boldsymbol{\tau}}$ ortalama viskoz gerilme tensörü olup,

$$\bar{\boldsymbol{\tau}} = \mu [\nabla \bar{\mathbf{u}} + (\nabla \bar{\mathbf{u}})^T] \quad (31)$$

ifadesiyle tanımlanmıştır.

Sınır Şartları

İnce kesitli bir kanal içersindeki akıma ait formülasyonun temel denklemleri süreklilik denklemi (11) ve Navier-Stokes denklemleri (29) ve (30)'dir. Bu formülasyon için Dirichlet (zorunlu) sınır şartı iki-boyutlu akım problemleri için kullanılan sınır şartının benzeridir.

$$\Gamma_u \quad \text{da} \quad \bar{\mathbf{u}} = \tilde{\mathbf{u}} \quad (32)$$

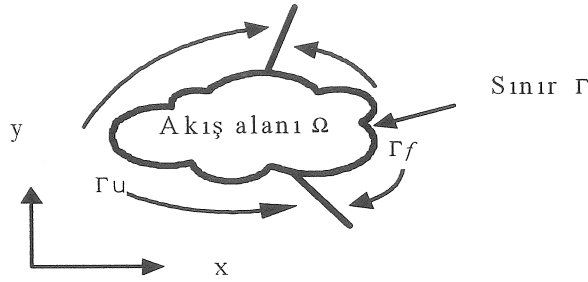
Neumann (doğal) sınır şartı aşağıda ifade edildiği gibi normal ve/veya teğetsel çekme sınır şartı olarak uygulanır.

$$\Gamma_f \quad \text{da} \quad \begin{cases} f_n = -p + 2\mu \frac{\partial \bar{u}_n}{\partial n} \\ f_t = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_n}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_t}{\partial n} \right) \end{cases} \quad (33)$$

Burada n ve t sırasıyla Γ_f sınırındaki birim normal ve teğetsel vektörlerdir. Γ_u ve Γ_f alan Ω 'yu çevreleyen kapalı Γ sınırının parçalarıdır. Buna göre Şekil 5'den

yararlanarak $\emptyset$ sıfırı temsil etmek kaydıyla, aşağıdaki gibi bir ilişkiyi yazmak mümkündür.

$$\begin{aligned}\Gamma_u \cup \Gamma_f &= \Gamma \\ \Gamma_u \cap \Gamma_f &= \emptyset\end{aligned}$$



Şekil 5. Akım alanının tanımı ve sınır tipleri

ÖRNEK UYGULAMA

Yukarıda elde edilen kalınlığın ilave edildiği akım formülasyonunu test etmek amacıyla karmaşık olmayan bir şekil ele alınarak iki değişik örnek için analitik çözüm gerçekleştirilmiştir. Her iki durumda da parabolik hız profili için elde edilen (29) formülasyonu kararlı hal koşulları için test edilmiştir.

Karşılaştırma amacıyla yapılan nümerik çözümlemede sonlu elemanların Galerkin yöntemi uygulanmıştır. Oluşturulan bir FORTRAN programı ile problemin nümerik çözümleri elde edilmiştir. Ancak yöntem ile programın detayları ve formülasyona uygulanışı bu çalışma kapsamına alınmamıştır. Konuyla ilgili diğer detaylar kaynak [17] de bulunabilir. Bu alandaki daha ayrıntılı ve uygulamalı çözüm örnekleri gelecekteki bir çalışmada yer alacaktır.

Türetilmiş olan bu formülasyon analitik çözümün elde edilebildiği bir dikdörtgen kesit arasındaki akışkan akımını simüle etmek için kullanılmıştır. Bu nedenle akışkan için seçilen özellikler $\rho = 1 \text{ kg/m}^3$ ve $\mu = 1 \text{ kg/ms}$ şeklindedir. Bunlar tipik bir sıvı metalin özelliklerini taşımayıp sadece nümerik algoritmanın tutarlılığını test etmek için seçilmiştir. Ayrıca seçilen geometrinin basitliği buna dayalı analitik çözümlerin oluşturulmasına ve nümerik kıyaslamaların yapılabilmesine imkan vermektedir.

Örnek 1

Bu problemde akışkanın sabit kalınlığa sahip bir kanal içersindeki dikdörtgensel kesit boyunca akımı tasarlanmıştır. Akışkan 50 kPa'lık sabit bir basınç farkı ile sürüklenmekte ve akım doğrultusunda yerçekimi ivmesi etki etmemektedir.

Buna göre ele alınan akım problemi x -doğrultusu boyunca olan bir akım olduğuna göre (29) eşitliğinin sadece x -doğrultusundaki ifadesi göz önüne alınacaktır. Bu ifadenin diferansiyel formu şöyle yazılabilir.

$$\begin{aligned}\rho h \left[\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{6}{5} \left(\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \right) \right] = \\ - h \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[2\mu \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{u}) \right] + \\ \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial}{\partial y} (h\bar{u}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\bar{v}) \right) \right] + \rho h g_x - 12\mu \frac{\bar{u}}{h}\end{aligned}\quad (34)$$

Şekil 6 göz önünde bulundurularak yapılan bazı kabullerle (34) eşitliği şöyle sadeleşir.

$$\mu \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} - 12 \frac{\mu \bar{u}}{h^2} + \frac{\Delta p}{L} = 0 \quad (35)$$

Burada $(-\partial p / \partial x) = \Delta p / L$ olup, Δp uzunluk L boyunca giriş ve çıkış arasındaki mutlak basınç farkıdır. Problem sadece kararlı hal koşulları için ele alınacağından zamana bağlı terimler ihmal edilmiştir. Aşağıdan verilen sınır şartları doğrultusunda,

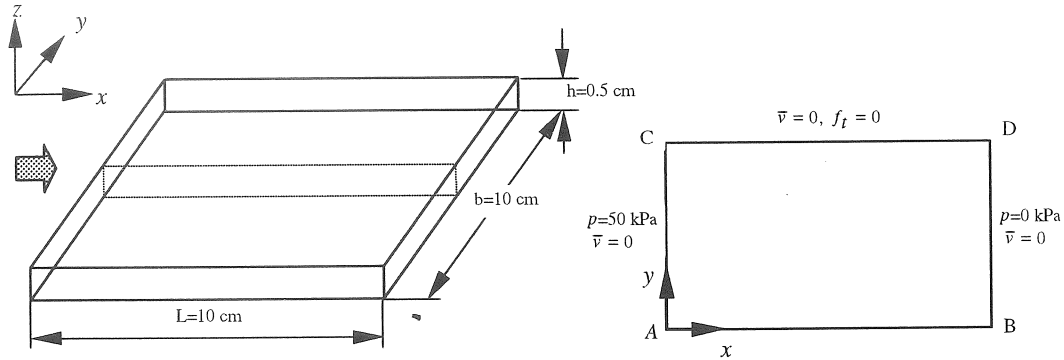
$$\bar{u}|_{y=0} = 0 \quad \text{ve} \quad \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \Big|_{y=\frac{1}{2}b} = 0 \quad (36)$$

eşitliğin çözümünden $\bar{u}$ hızı,

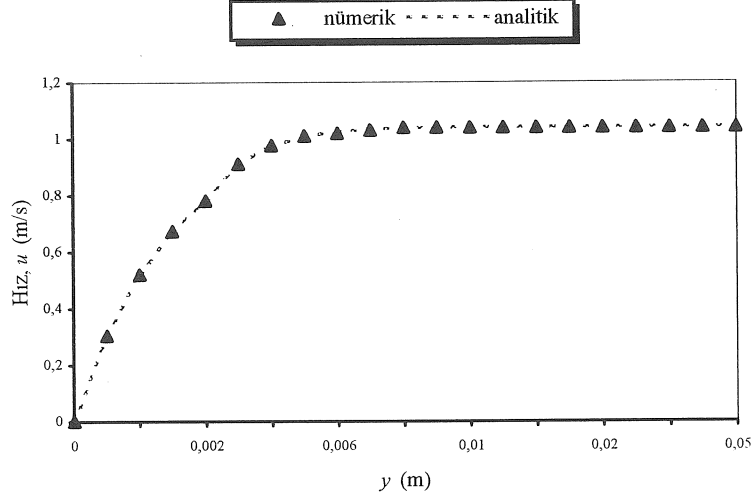
$$\bar{u}(y) = \frac{h^2 \Delta p}{12\mu L} \left[1 - \frac{\exp(2\sqrt{3} y/h)}{1 + \exp(2\sqrt{3} b/h)} - \frac{\exp(-2\sqrt{3} y/h)}{1 + \exp(-2\sqrt{3} b/h)} \right] \quad (37)$$

şeklinde elde edilir.

Burada b, L, h kanalın boyutları olup basınç farkı $\Delta p = 50 \text{ kPa}$ olarak alınmıştır. Şeklin simetrisinden yararlanılarak kanalın yarısı göz önüne alınmış ve AB kenarında kayma olmayan sınır şartı uygulanmıştır. Cidara yakın bölgede yüksek hız gradyenti beklendiğinden çözüm için bu kısımda daha sık aralıklar kullanılmıştır. Sonuç olarak analitik ve nümerik çözüm sonucu arasındaki benzerlik Şekil 7 de net olarak görülebilmektedir.



Şekil 6. Sabit kalınlıktaki bir kanal içerisindeki akım



Şekil 7. Sabit kalınlıktaki dikdörtgen kesit arasındaki akımın hız sonuçları

Örnek 2

İkinci testte kalınlık değişiminin akım üzerine etkisi incelenmiştir. Lineer olarak daralan kesitte (Şekil 8) aynı tip akışkan kullanılmıştır. Akışkan kanal içersinde yine 50 kPa'lık bir basınç farkı ile sürüklenmektedir. AB ve CD kenarları boyunca olan akımın serbest akım gibi davranmasını sağlamak için kayma sınır şartı uygulanmıştır. Bu problemde çözüm h 'ın lineer fonksiyonu,

$$h(x) = h_{\text{giriş}} + r_x x \quad (38)$$

göz önüne alınarak ulaşılmıştır. Burada r_x sabit kalınlık gradyenti olup değişim bölgesi $0 \leq x \leq L$ dır.

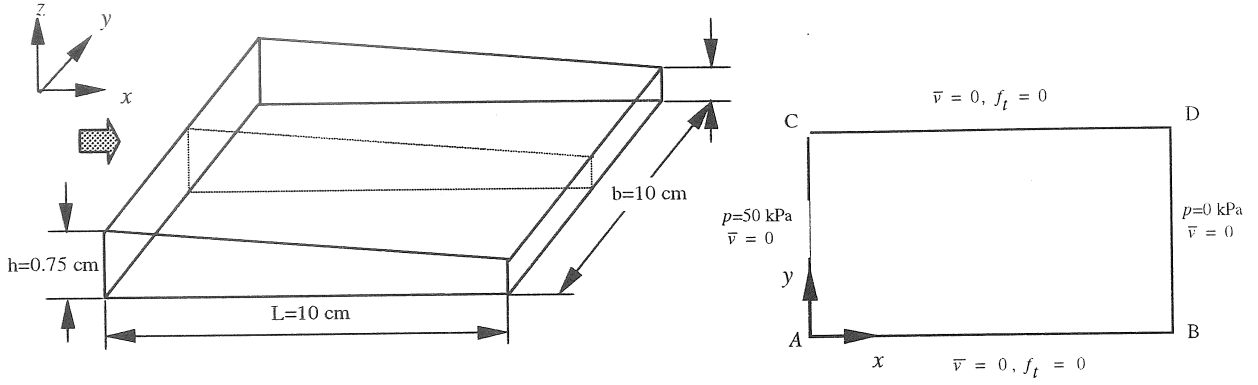
Süreklilik denklemi (11)'nin integrasyonu birim kalınlık başına düşen akım miktarını vereceğinden q ,

$$q(x) = h(x) \cdot \bar{u}(x) \quad (39)$$

olacaktır. Buna göre (34) eşitliği ve süreklilik denklemi kararlı hal koşulları için

$$\rho h \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \frac{\rho}{3} h \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = -h \frac{\partial p}{\partial x} - 12\mu \frac{\bar{u}}{h} \quad (40)$$

şeklinde sadeleştirilebilir. (40) eşitliğinin q 'ya bağlı ifadesi şöyle elde edilebilir.



Şekil 8. Lineer olarak daralan bir kanal içersindeki akım

$$p_{giriş} - p_{çıkış} \equiv \Delta p = \frac{6}{5} \frac{\rho q}{h^3} \left(r_x q - 10 \frac{\mu}{\rho} \right) \quad (41)$$

Verilen sınır şartlarından yararlanarak gerekli işlemler ve sadeleştirmeler yapılarak q 'nın x 'e bağlı çözümü,

$$q = \frac{1}{r_x} \left[5 \frac{\mu}{\rho} - \sqrt{\left(5 \frac{\mu}{\rho} \right)^2 - \frac{5}{3} \left(\frac{h_{giriş}^2 h_{çıkış}^2}{h_{giriş} + h_{çıkış}} \right) \frac{r_x \Delta p}{\rho L}} \right] \quad (42)$$

olarak elde edilir. Buna göre $\bar{u}$ hızı (41) ve (42) eşitliklerinden,

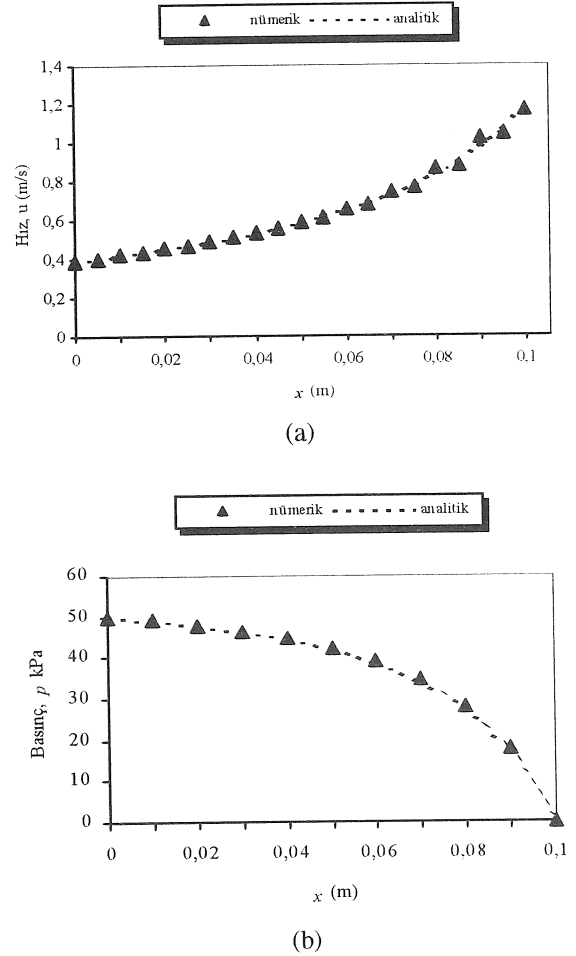
$$\bar{u}(x) = \frac{q}{h_{giriş} + r_x x} \quad (43)$$

şeklinde kolaylıkla hesaplanabilir. p basıncının çözümü için (41) ifadesinin $[0, L]$ bölgesi içersinde integrali alınarak aşağıdaki eşitlikten elde edilebilir.

$$p(x) = p_{çıkış} + q \left(\frac{3}{5} \rho q - 6 \frac{\mu}{r_x} \right) \left[\frac{1}{h_{çıkış}^2} - \frac{1}{(h_{giriş} + r_x x)^2} \right] \quad (44)$$

Bütün bu denklemler için değişkenlerin değerleri Şekil 8'den elde edilebilir.

Sonuç olarak hız ve basıncın analitik ve nümerik çözümleri arasındaki uyumlu benzerlik Şekil 9'da net olarak görülmektedir. Hızın çıkışa doğru olan titreşimleri çözüm aralıklarının sıklaştırılmasıyla giderilebilir.



Şekil 9. Lineer olarak daralan bir kanal içersindeki akımın hız ve basınç sonuçları

SONUÇ

Çalışmada elde edilen formülasyonlar kalıp boşluğuna basılan bir sıvı metalin hareketinin incelenmesinde kullanılmak üzere türetilmiştir. Analitik çözümün elde edilebilmesi için basit geometriye sahip örnekler seçilerek bir dikdörtgen kesit arasındaki akışkan akımı simule edilmiştir. Ancak bu çalışmada, daha önce de bahsedildiği gibi nümerik hesaplamalar ve kalıp boşluğunun doldurulmasıyla ilgili uygulama kısmı ele alınmamış, sadece formülasyonun elde edilişi üzerinde durularak uygulama için basamak oluşturulmak istenmiştir. Sonuç olarak yapılan hesaplamalarda analitik ve nümerik çözümlerde uyumlu sonuçların elde edilmesi yaklaşımın doğruluğunu göstermektedir.

GELECEKTEKİ ÇALIŞMALAR

Elde edilen formülasyon kullanılarak uygulamaya yönelik detaylara, örnek ve sonuçlara sonraki çalışmalarda yer verilecektir.

ACKNOWLEDGEMENT

I would like to acknowledge to Prof. Dr. D. T. GETHIN (University College of Swansea) and Dr. S. ABDULLAH (University Kebangsaan Malaysia) for their help, advise and criticism of the results for the programs and data.

A QUASI-THREE DIMENSIONAL FORMULATION OF FLOW ANALYSIS THROUGH A THIN SECTION CHANNEL

Analysis of a fluid flow through thin section channels is very important for industrial applications. Three-dimensional approach produces accurate results for this type analysis. However it is very difficult and complicated to analyse such a model, which specially has a complex shape in three-dimensions. In addition the three-dimensional analysis of a model is very costly because it needs large amount of computing time and powerful computers. Therefore, such a model should, whenever possible, be simplified or reduced to an equivalent two-dimensional representation. In this study, three-dimensional Navier-Stokes equations, which are then integrated along channel thickness h , over the z -direction, are reduced to a *quasi three-dimensional* representation. This will lead a saving in computing time since spatial velocity components $[u, v, w]$ are transformed to planar mean velocities

$[\bar{u}, \bar{v}]$ by reducing one of the spatial velocity components such as w . In that modification two different formulations have been derived using a parabolic and a planar velocity profile.

Keywords: Thin Section Channel, Navier-Stokes Equations, Quasi-Three Dimensions.

KAYNAKÇA

1. Campbell, J., Thin Wall Casting, *Materials Science and Technology*, 4:194-204, (1988).
2. Zhang, Y.F., Liu, W.K., Wang, H.P., Cast Filling Simulations of Thin-walled Cavities, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 128:199-230, (1995).
3. Hughes, T.J.R., Liu, W.K., Brooks, A., Finite Element Analysis in Incompressible Viscous Flows by the Penalty Function Formulation, *Journal of Computational Physics*, 30:1-60, (1979).
4. Leone, J.M., Gresho, P.M., Finite Element Simulation of Steady, Two-dimensional, Viscous Incompressible Flows Over a Step, *Journal of Computational Physics*, 41:167-191, (1981).
5. Berocvier, M., Engelman, M., A Finite Element for the Numerical Solution of Viscous Incompressible Flows, *Journal of Computational Physics*, 30:181-201, (1979).
6. Donea, J., Giuliani, S., Laval, H., Finite Element Solution of the Unsteady Navier-Stokes Equations by a Fractional-step Method, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 30:53-73, (1982).
7. Sotirpoulos, F., Abdallah, S., Coupled Fully Implicit Solution Procedure for the Steady Incompressible Navier-Stokes Equations, *Journal of Computational Physics*, 87:328-348, (1990).
8. Prakash, C., Patankar, S.V., A Control Volume-Based Finite-Element Method for Solving the Navier-Stokes Equations Using Equal-Order Velocity-Pressure Interpolation, *Numerical Heat Transfer*, 8: 259-280, (1985).
9. Ramaswamy, B., Theory and Implementation of a Semi-implicit Finite Element Method for Viscous Incompressible Flow, *Computers Fluids*, 22(6):725-747, (1993).
10. Stenberg, R., A Technique for Analysing Finite Element Methods for Viscous Incompressible Flow, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 11:935-948, (1990).
11. Thomas, B.G., Najjar, F.M., Finite Element Modelling of Turbulent Fluid flow and Heat

- Transfer in Continuous Casting, *Applied Mathematics and Modelling*, 15:226-243, (1991).
12. Zaidi, K., Abbas, B., Teodosiu, C., Finite Element Simulation of Mold Filling Using Marker Particles and the $k-\epsilon$ Model of Turbulence, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 144:227-233, (1997).
 13. Dhatt, G., Gao, D.M., Ben Cheikh, A., A Finite Element Simulation of Metal Flow in Moulds, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 30:821-831, (1990).
 14. Schlichting, H., *Boundary Layer Theory*, McGraw-Hill Book Company, (1979).
 15. Wang, H.P., Perry, E.M., An Interactive Parametric Analysis Tool for Thin-Walled Investment Casting, *Proceeding of Fifth Inter. Conference on Modelling of Casting, Welding and Advanced Solidification Processes*, M. Rappaz et. al. (editors), Palm Coast, Florida, The Minerals, Metals and Materials Society, 595-602, (1991).
 16. Subbiah, S., Trafford, D.L., Güçeri, S.I., Non-Isotermal Flow of Polymer into Two-Dimensional, Thin Cavity Molds: A Numerical Grid Generation Approach, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 32:415-434, (1989).
 17. Yaman, G., *İnce Kesitli Döküm Boşluğunu Doldurmakta Olan Ergimiş Malzemeye Ait Hareketin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile İncelenmesi*, Doktora Tezi, Balıkesir, 1999.

Halil Özer
Yardımcı Doçent

Durmuş Günay
Profesör

Zonguldak Karaelmas
Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
67100 ZONGULDAK

Düz Dişlide Profil Kaydırma Faktörünün, Çatlak İlerleme Yolu Üzerindeki Etkisi

Bu çalışmada, düz dişlilerde, profil kaydırma faktörü x 'in çatlak ilerleme yolu ve gerilme şiddet faktörleri üzerindeki etkileri, artı ve eksi profil kaydırma faktörleri seçilerek, sonlu elemanlar metodu ile araştırılmıştır. Profili kaydırılmış dişlilerin çatlak ilerleme yolu, standart dişlilerin çatlak ilerleme yolu ile karşılaştırıldı. K_I ve K_{II} gerilme şiddet faktörleri J-integral Metodu ile, çatlak ilerleme yolu ise Maksimum Teğetsel Gerilme Metodu ile belirlendi. x arttıkça çatlak başlama yerinin, dişdibi eğriliğinde aşağı doğru ilerlediği görüldü. K_{II} gerilme şiddet faktörleri K_I 'den belirgin olarak küçük olmakla birlikte, K_{II} gerilme şiddet faktörünün çatlak yolunun şekli üzerinde çok etkili olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Profil Kaydırma Faktörü, Çatlak İlerlemesi, Düz Dişli.

GİRİŞ

Dişli analiz ve tasarımı ile ilgili en yaygın metotlar AGMA'nın yayınladığı standartlara dayanmaktadır. Standartlardaki formüller, çatlak başlamasını önlemek için dişli diş eğilmesine dayalı formüllerdir. Ancak, çatlak başladıktan sonra, çatlak ilerleme yolu ile ilgili olarak bu standartlar herhangi bir şey söylememektedir.

Kırılma mekaniği, çatlak bulunan yapının mukavemet ve ömrünü tayin etmede çok kullanışlı bir araçtır. Ancak, kırılma mekaniğinin dişli problemlerine uygulanmasına ait literatürde pek az çalışmaya rastlanmıştır.

Honda ve Conway [1], çekme tarafındaki dişdibi eğriliğinde, en kritik gerilme noktasında, serbest yüzeye normal olacak şekilde bulunan çatlakları incelediler. Varsayılan çatlak adımlarında Mod I ve Mod II gerilme şiddet faktörlerini hesaplamak için sonlu eleman tekniğini kullandılar. Flaker ve arkadaşları [2], dişkökünün çekme tarafı dişdibinde çatlak bulunan dişli dişinde, çatlak ilerleme hızını ve doğrultusunu belirleyen bir metot önerdiler. Flaker ve arkadaşları, bilinen dişli hesaplama yöntemleri ile sonlu eleman metodunu başarılı bir şekilde uyguladılar ve kırılma mekaniğini kullanarak dişdibinde çatlak bulunan dişlilerin ömrünü belirlediler. Nicoletto [3], çatlaklı dişlilerin gerilme şiddet faktörlerini belirlemede, ağırlık fonksiyon metodu ile kompleks potansiyel metoduna dayanan

bir metot öne sürdü. Öne sürdüğü metotla elde ettiği gerilme şiddet faktörlerinin, literatürdeki benzer çalışmalarla uyumlu olduğunu gördü. Abersek ve arkadaşları [4], ağırlık fonksiyon metodunu, çatlaklı dişli dişinin gerilme şiddet faktörlerini tayin etmede kullandılar. Daniewicz ve arkadaşları [5], tek bir çatlaklı diş bulunan pinyon ile çatlaksız bir dişlinin kavrama durumunu gözönüne aldılar. Çatlaklı pinyon diş ile çatlaksız dişli diş çiftine dair diş-çifti direngenliğini, bir model kullanarak elde ettiler. Çatlaklı düz dişli dişinin direngenliğini, Mod I ve Mod II gerilme şiddet faktörlerinin fonksiyonu olacak şekilde, analitik olarak elde ettiler. Lewicki ve Ballarini [6], jant kalınlığının dişli dişindeki çatlakın ilerleme yolu üzerindeki etkisini incelemek için analitik ve deneysel çalışmalar yaptılar. Çatlak ilerlemesinin dişkökü veya jant boyunca olup olmayacağını tayin etmek için çeşitli jant kalınlıkları kullandılar. Lewicki ve Ballarini [7,8], dişli jant kalınlığının çatlak ilerleme ömrü üzerindeki etkisini incelemek için analitik ve deneysel çalışma yaptılar. Öndeyilenen çatlak ilerleme sonuçlarının geçerli olup olmadığını tayin etmek için deneysel incelemeler yaptılar. Kato ve arkadaşları [9], iki boyutlu lineer elastik kırılma mekaniğini kullanarak, sertleştirilmiş dişli dişinde, yorulma çatlak ilerlemesini temsil etmek için bir metot geliştirdiler. Çeşitli dişliler için kritik çatlak uzunlukları buldular ve bunları yüzey koşulunun fonksiyonu olarak gösterdiler. Inoue ve Kato [10], bilya püskürtmenin

çatlak ilerlemesi üzerindeki etkisini incelediler. Bilya püskürtülmüş dişlide gerilme şiddet faktörünün, artık gerilme etkisi nedeniyle, sertleştirilmiş dişli gerilme şiddet faktöründen daha küçük olduğunu belirlediler.

Literatürde, profil kaydırma (tashih) faktörü ile çatlak ilişkisini inceleyen pek az çalışmaya rastlanmıştır. Oda ve Shimatomi [11,12], birinci ve ikinci raporlarında, normalize çelikten (S45C) ve sementasyon çeliğinden (SCM21) yapılmış düz dişlilerde, Oda ve Tsubokura [13] ise FC25 (dökme demir) ve SC46 (dökme çelik) den yapılmış düz dişlilerde, profil kaydırma faktörü x 'in, eğilme-yorulma mukavemeti, çatlak başlama yeri üzerindeki etkisini incelediler. Dişucu yüklemesi durumunda, profil kaydırma faktörünün, dişdibindeki gerilmelere etkisi ile ilgili bir analiz yaptılar. Profil kaydırma faktörü x 'in artmasıyla birlikte eğilme yorulma sınır yükünün arttığını gördüler. Profil kaydırma faktörünün eğilme-yorulma mukavemeti üzerindeki etkisini, eğilme-yorulma düzeltme faktörü B_x ile temsil ettiler. Pozitif profil kaydırma bölgesinde eğilme-yorulma sınırının, x 'in artmasıyla arttığını, negatif profil kaydırma bölgesinde ise x 'in azalmasıyla eğilme-yorulma sınırının biraz arttığını gördüler. Çatlak başlama yerinin, Hofer'in metoduyla belirlenen kritik yer civarında meydana geldiğini gördüler. Oda ve Tsubokura [14], profil kaydırma faktörünün yüksek kavrama açılı düz dişlilerin eğilme yorulma mukavemeti üzerindeki etkisini incelediler. Dişli malzemesi olarak, normalize çelik (S45C), dökme demir (FC25) ve dökme çelik (SC46) kullandılar. Yüksek kavrama açısı olarak $\phi = 27^\circ$ değerini seçtiler. $\phi = 27^\circ$ kavrama açılı dişlilerin eğilme-yorulma limit yükünün, malzeme ve profil kaydırma faktörüne bakmaksızın, $\phi = 20^\circ$ kavrama açılı dişlilerin eğilme-yorulma limit yüklerinden daha büyük olduğunu gördüler. Literatürde, profil kaydırma faktörünün, çatlak ilerleme yolu üzerindeki etkisini inceleyen herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

SONLU ELEMAN MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Sonlu eleman modeli için önce, problem bölgesi elde edilmektedir. Problem bölgesi, tüm dişliyi ifade eden bir yüzeydir. Problem bölgesinin elde edilmesinde en önemli aşama diş profilinin oluşturulmasıdır. Evolvent profilli diş geometrisini veren bir bilgisayar programı tarafımızdan yazılmıştır [15,16,17,18]. Bu program, dişli ana büyüklüklerini, profil kaydırma faktörünü (x), kesici takım özelliklerini ve jant kalınlığını içermektedir. Programın MYSTRO'da oluşturduğu diş koordinat

noktalarından, dişli oluşturan kısımlar dikkate alınarak eğri parçaları oluşturuldu. Dişli oluşturan bu eğrilerden yüzeyler meydana getirildi. Diş/dişli modelinin sonlu eleman ağı MYSTRO'da oluşturuldu. Daha sonra bu model, gerilme analizi yapan LUSAS yazılımına aktarıldı.

Tablo 1. Dişli modelini oluşturmada ve analiz etmede kullanılan veriler

BÜYÜKLÜKLER	DEĞERLER
Kesici takım uç yarıçapı, r_c	0.375m
Modül, m	4 mm
Kavrama açısı, ϕ	20°
Diş sayısı, z	26
Diş üstü yüksekliği, h_a	1m
Diş taban yüksekliği, h_d	1.25m
Diş genişliği, b	10 mm
Yük, F	1471.5 N
Elastisite modülü, E (çelik için)	200×10^3 MPa
Poisson oranı, ν	0.3
Profil kaydırma faktörü, x	$\pm 0.15, \pm 0.3, \pm 0.5$
Jant Kalınlığı	8m
Sınır şartı	Dişli göbek kısmı sabit mesnet

Tabloda m sembolü modül anlamındadır.

Probleme esas teşkil edecek optimum sonlu eleman ağını elde etmek için, dişli modeline çeşitli sonlu eleman ağ tipi uygulandı. Burada amaç, mümkün olan en yaklaşık sonuca optimum sonlu eleman ağı ile ulaşmaktır. Sonlu eleman ağında sekiz düğümlü dörtgen eleman kullanılmıştır. Yük, diş ucuna uygulandı. Sınır şartı olarak, dişli, göbek kısmından sabit mesnetle mesnetlenmiştir.

Yüklemenin yapıldığı diş sektörünün hem diş hem de jant kısmında sonlu eleman ağı sıklaştırıldı. Özellikle gerilme değişiminin büyük olması beklenen dişdibi bölgesinde eleman sayısı artırıldı. Bitişikteki dişlerin gerilmelere etkisini dikkate alarak, yüklemenin yapıldığı dişin bitişikindeki dişlerden başlanarak, dişlerdeki sonlu eleman ağı seyrekleştirildi. Bu yaklaşım, hem standart hem de tashihli dişlilere ayrı ayrı uygulandı.

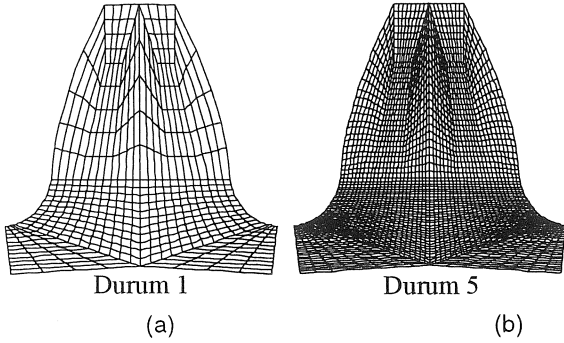
Optimum sonlu eleman ağını elde etmek için beş ayrı durum incelendi (Bkz. Tablo 2). Eleman sayısının artmasıyla gerilmelerde kademeli bir artma gözlemlendi. Ancak gerilmelerde hızlı bir değişme görülmedi. Durum 1 ve Durum 5 modeline ait σ_{max} ve σ_{min} gerilmeleri arasındaki fark sırasıyla % 4.347 ve % 4.26 kadar oldu.

Dolayısıyla, sonuca ulaşmada kabul edilebilir mertebedeki yaklaşıklık ve hesaplama zamanını gözönüne alarak, gerilme analizi, gerilme şiddet

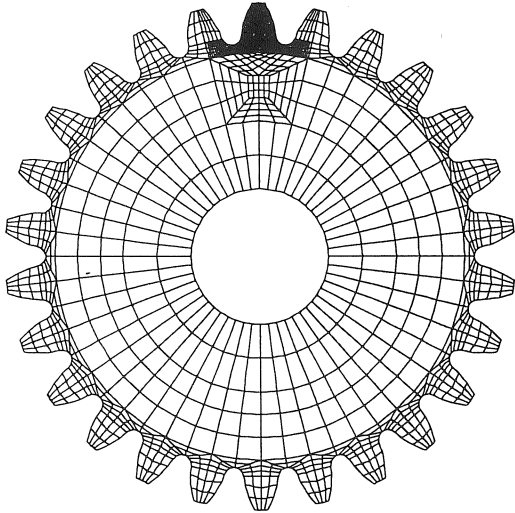
faktörü hesaplamalarında ve çatlak ilerleme yolunun tayin edilmesinde, bu çalışmada referans olarak Durum 1 modeli (1716 eleman, 5706 düğüm) kullanılacaktır. Bu eleman sayısı problem bölgesi olarak alınan tam dişliye ait eleman sayısını göstermektedir. Şekil 1 (a) ve Şekil 1 (b) de, sırasıyla Durum 1 ve Durum 5 için yükleme yapılan dişin sonlu eleman ağı gösterilmiştir. Durum 1'in tam modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. Standart dişlide ($x = 0$) optimum sonlu eleman ağının araştırılmasında kullanılan modellere ait veriler

Durum	Eleman Sayısı	Düğüm Sayısı	$\sigma_{\max}$ [MPa]	$\sigma_{\max}$ daki % değişme	$\sigma_{\min}$ [Mpa]	$\sigma_{\min}$ daki % değişme
1	1716	5706	131.1	-	-161.8	-
2	1980	6559	132.8	1.29	-163.8	1.23
3	2244	7355	133.7	1.98	-164.9	1.91
4	3296	10573	135.4	3.27	-167.0	3.21
5	4596	14462	136.8	4.347	-168.7	4.26

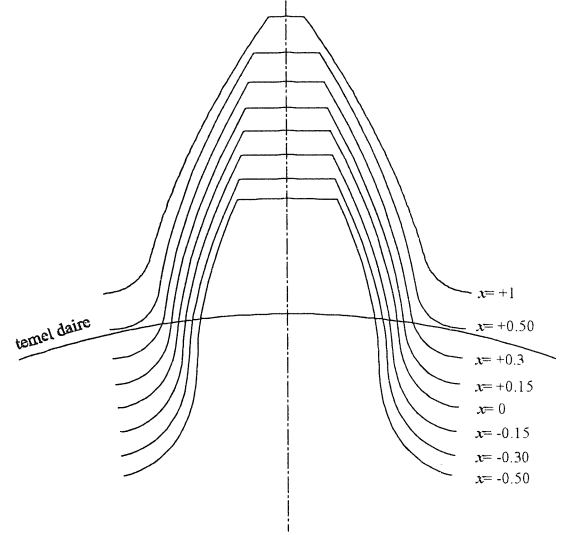


Şekil 1. Yüklemenin yapıldığı dişte sonlu eleman ağı: (a) Durum 1, (b) Durum 2



Şekil 2. Standart dişliye ($x = 0$) ait sonlu eleman ağı (Durum1)

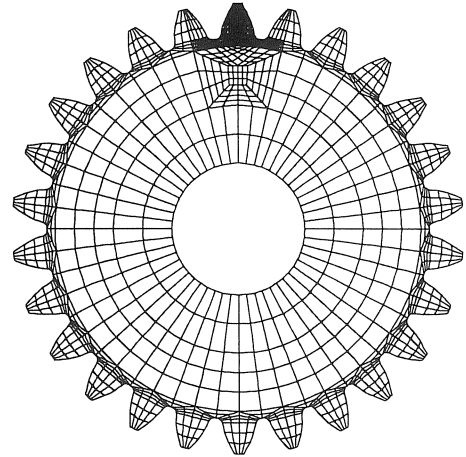
Tashihli dişlilerde (profil kaydırma yapılmış dişlilerde) optimum sonlu eleman ağının belirlenmesinde de aynı yöntem izlendi. Tashihli dişlilere ait nihai sonlu eleman ağ verileri Tablo 3'de verildi. Profil kaydırma faktörü x 'in diş geometrisi üzerindeki etkisi Şekil 3'de gösterilmiştir. profil kaydırma faktörü $x = +0.5$ olan tashihli dişliye ait sonlu eleman ağı (1716 eleman ve 5706 düğüm) Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 3. x 'in diş geometrisi üzerindeki etkisi

Tablo 3. Tashihli dişlilere ait eleman ve düğüm sayıları

x	-0.15	-0.3	-0.5	+0.15	+0.3	+0.5
Eleman Sayısı	1692	1688	1670	1740	1740	1716
Düğüm Sayısı	5632	5672	5616	5780	5780	5706



Şekil 4. Profil kaydırma faktörü $x = +0.5$ olan tashihli dişliye ait sonlu eleman ağı

GERİLME ŞİDDET FAKTÖRÜ VE ÇATLAK İLERLEME AÇISI

K_I ve K_{II} gerilme şiddet faktörleri *J-İntegral Metodu* ile, çatlak ilerleme açısı θ ise *Maksimum Teğetsel Gerilme* (σ_θ) *Metodu* ile belirlendi. *J-İntegral Metodu* şöyle tarif edilmektedir,

$$J_1 = \int_{\Gamma} (W dy - T \frac{\delta u}{\delta x} ds) \quad (1)$$

$$J_2 = \int_{\Gamma} (W dx - T \frac{\delta u}{\delta y} ds) \quad (2)$$

burada Γ çatlak ucunu çevreleyen kapalı bir eğri, W zorlanma enerji yoğunluğu, T , Γ ye dik ve yönü dışarı doğru olan bir vektör, ds ise, Γ de bir elementer yay uzunluğudur. Böylece, gerilme şiddet faktörleri,

$$J_1 = \frac{1}{E^*} (K_I^2 + K_{II}^2) \quad (3)$$

$$J_2 = \frac{2}{E^*} K_I K_{II} \quad (4)$$

denklemlerinden bulunmaktadır. Çatlak ilerleme açısı θ ise, *Maksimum Teğetsel Gerilme* (σ_θ) *Metodu* kullanılarak,

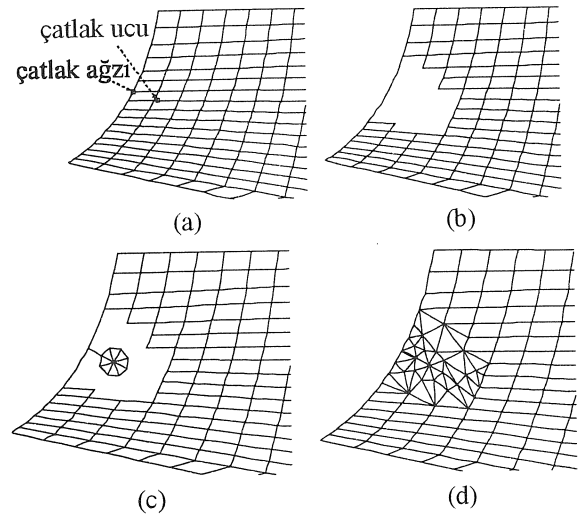
$$\left(\tan\left(\frac{\theta_m}{2}\right) \right)_{1,2} = \frac{1}{4} \frac{K_I}{K_{II}} \pm \frac{1}{4} \sqrt{\left(\frac{K_I}{K_{II}} \right)^2 + 8} \quad (5)$$

bağıntısından bulunmaktadır.

STANDART VE PROFİL KAYDIRILMIŞ DİŞLİLERDE ÇATLAK İLERLEMESİNİN MODELLENMESİ

Çatlak başlama yeri, deneysel incelemelerin gösterdiği gibi [11, 12, 13 ve 14], dişdibi bölgesinde, yüklemenin olduğu çekme tarafında, maksimum gerilmenin meydana geldiği yer civarındadır. Buradan hareketle, bu çalışmada, çatlak başlama noktası (*çatlak ağzı*) olarak, gerilmenin maksimum olduğu dişdibi serbest yüzeyindeki eleman düğüm noktası seçilmiştir. Çatlak başlama noktasının (*çatlak ağzı'nın*), dişdibi eğriliği serbest yüzeyine teğetin normali doğrultusunda, başlangıç çatlak uzunluğu kadar ötelenmesiyle varılan nokta, *çatlak ucu* olarak seçilmiştir.

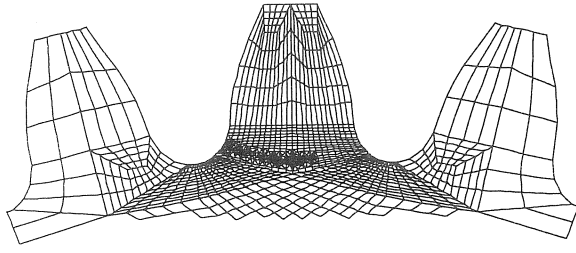
Bu çalışmada, düz dişli dişine çatlak yerleştirmek ve bu çatlak iletirmek için FRANC [19] programı kullanılmıştır. FRANC programında yapıdaki çatlak modellemek için "sil ve doldur" şeklinde ifade edilebilecek bir metod kullanılmaktadır. Veri olarak başlangıç çatlaklığının, *çatlak ağzı* ve *çatlak ucu* girilmektedir. FRANC, *çatlak ucu* civarındaki elemanları silmekte ve *çatlak ucu'na*, iki adet orta düğümü *çatlak ucu'na* doğru $\frac{1}{4}$ oranında ötelenmiş altı-düğümlü üçgen elemanlar yerleştirmekte ve sonlu eleman ağını yeniden düzenlemektedir. Sonra, çatlak ilerleme adım sayısı ve adımlardaki *çatlak artırım-uzunluğu* girilmektedir. FRANC programında modele çatlak yerleştirmek için gerçekleştirilen işlemler Şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Dişli dişinin dişdibine çatlak yerleştirme aşamaları: (a) *çatlak ağzı* ve *çatlak ucu'nun* belirlenmesi, (b) *çatlak ucu* civarındaki elemanların silinmesi, (c) iki orta düğümü *çatlak ucu'na* doğru $\frac{1}{4}$ oranında ötelenmiş üçgen elemanların *çatlak ucu'na* yerleştirilmesi, (d) Sonlu eleman ağıнын yeniden düzenlenmesi

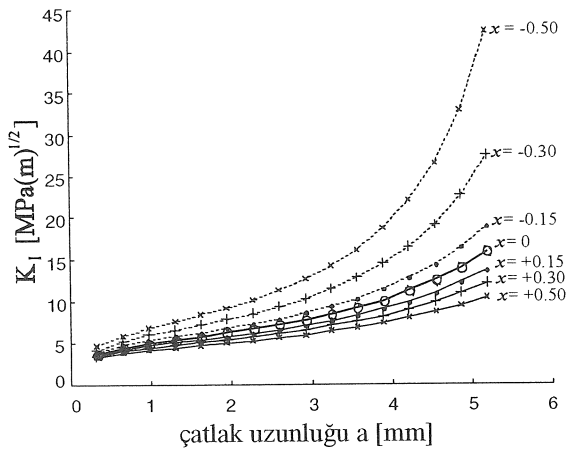
K_I ile K_{II} gerilme şiddet faktörlerini tayin etmek ve çatlak ilerleme yolunu belirlemek amacıyla, standart ($x = 0$) ve $x = \pm 0.15, \pm 0.30$ ve ± 0.50 profil kaydırma faktörlü dişli modelleri FRANC'a aktarılmıştır. Her bir modelde maksimum gerilmenin meydana geldiği noktaya *çatlak ağzı* (çatlak başlangıç noktası) yerleştirildi. Başlangıç çatlak uzunluğu olarak, her bir modelde dişdibi bölgesindeki ortalama eleman uzunluğu seçilmiştir. FRANC'da *çatlak ağzı* ve *çatlak ucu* tespit edildi ve

başlangıç çatlakları yerleştirildi. Şekil 6'da profil kaydırma faktörü $x = -0.15$ olan tashihli dişli dişinde, çatlakların 15 adım ilerletilmesinden elde edilen çatlak yolu ve sonlu eleman ağı gösterilmiştir.

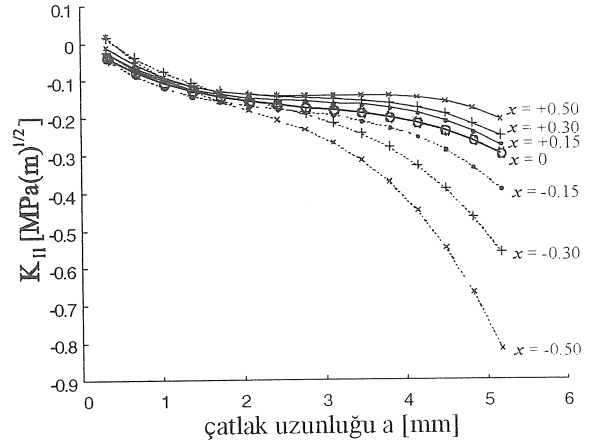


Şekil 6. Profil kaydırma faktörü $x = -0.15$ olan tashihli dişli dişinde, çatlakların 15 adım ilerletilmesinden elde edilen çatlak yolu

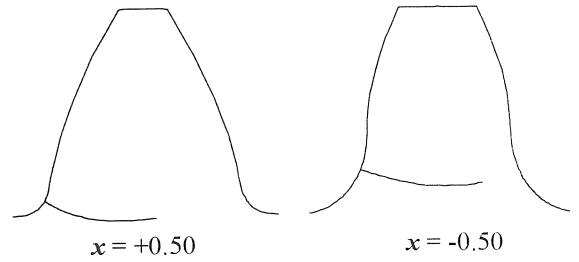
Gerilme şiddet faktörlerinin belirlenmesinde *J-integral metodu*, çatlak ilerleme doğrultusunun belirlenmesinde *Maksimum Teğetsel Gerilme Metodu* kullanılarak, standart ($x = 0$) ve $x = \pm 0.15$, $x = \pm 0.3$, $x = \pm 0.5$ profil kaydırma faktörlü dişlilerde çatlak 15 adım ilerletildi. Her bir model için elde edilen K_I ve K_{II} gerilme şiddet faktörleri, sırasıyla, Şekil 7 ve Şekil 8'de gösterilmiştir. $x = +0.5$ ve $x = -0.5$ profil kaydırma faktörlü dişli dişinde, çatlakların 15 adım ilerletilmesinden elde edilen çatlak yolları ise Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 7. x 'e bağlı olarak K_I 'nin değişimi



Şekil 8. x 'e bağlı olarak K_{II} 'nin değişimi



Şekil 9. Profili kaydırılmış dişlilerde, çatlakların 15 adım ilerletilmesinden elde edilen çatlak yolları

SONUÇLAR

1. Profil kaydırma faktörü x 'in artmasıyla, dişdibi eğrilik yarıçapı ρ 'nun azaldığı, kritik kesitteki S_q diş kalınlığının arttığı, yük tatbik noktasının kritik kesite uzaklığının arttığı ve yük tatbik noktasının diş simetri eksenine uzaklığının azaldığı görüldü.
2. Pozitif profil kaydırma bölgesinde x 'in artmasıyla, dişdibi eğrilik yarıçapı ρ 'nun azalması nedeniyle dişdibinde çentik (gerilme yığılma) faktörü artmaktadır. Ancak x arttıkça S_q kritik kesit kalınlığının artması, gerilme değişiminde dengeleyici unsur olarak iş görmektedir.
3. Negatif profil kaydırma bölgesinde x azaldıkça, dişdibi eğrilik yarıçapı ρ artmaktadır, dolayısıyla dişdibinde çentik (gerilme yığılma) faktörü azalmaktadır. Ancak negatif profil kaydırma bölgesinde x azaldıkça, S_q kritik kesit kalınlığının azalması, gerilme değişiminde dengeleyici unsur olarak iş görmektedir.

4. Profil kaydırma faktörü arttıkça, σ_y , τ_{xy} , $\sigma_{\max}$, $\sigma_{\min}$, $\tau_{\max}$ gerilmelerinin azaldığı görülmüştür.
5. Bu problemde $K_I \gg |K_{II}|$ olduğundan, çatlak ilerleme açıları (θ_m), literatürde [20] ifade edilene uygun olarak $\theta_m = -K_{II} / K_I$ 'e yakınsamaktadır.
6. Profil kaydırma faktörü x 'in çatlak başlama yeri üzerindeki etkisi incelendi. Profil kaydırma faktörü x arttıkça, yük tatbik noktasının S_q kritik kesite uzaklığı artmaktadır. Bu çalışmada çatlak başlama yeri olarak, yüklemenin yapıldığı taraftaki dişdibi eğriliğinde meydana gelen $\sigma_{\max}$ 'ın oluştuğu düğüm noktası seçildiğinden, pozitif profil kaydırma bölgesinde x arttıkça, çatlak başlama yeri, dişdibi eğriliğinde aşağı doğru hareket etti. Negatif profil kaydırma bölgesinde ise x azaldıkça, çatlak başlama yerinin dişdibi eğriliğinde yukarı doğru hareket ettiği görüldü. Dolayısıyla, x arttıkça çatlak başlama yeri, dişdibi eğriliğinde aşağı doğru kaymaktadır.
7. Profil kaydırma faktörü x 'in gerilme şiddet faktörleri üzerindeki etkisi incelendi. Standart ve tashihli dişlilerde Mod I gerilme şiddet faktörlerinin Mod II gerilme şiddet faktörlerinden çok büyük olduğu görüldü. Negatif profil kaydırma bölgesinde K_I ve K_{II} gerilme şiddet faktörlerinin, pozitif profil kaydırma bölgesine nazaran daha hızlı değiştiği görüldü.
8. Standart ve tashihli dişlilerde çatlak yolunun değişimi incelendi. Dişucu yüklemesi durumunda, çatlak yolunun başlangıçta janta doğru ilerlediği, ancak daha sonra, çatlak yolunu değiştirerek dişköküne geri döndüğü görüldü. Bu problemde, K_{II} gerilme şiddet faktörleri, K_I gerilme şiddet faktörlerinden belirgin olarak küçük olmakla birlikte, çatlak ilerleme yollarından görüldüğü gibi, K_{II} gerilme şiddet faktörü, çatlak yoluna hafif bir eğrilik katmakta ve çatlak başlangıçta jant kısmına doğru ilerlerken, K_{II} gerilme şiddet faktörünün etkisiyle, çatlak yolunu değiştirerek dişköküne yönelmektedir. Dolayısıyla K_{II} gerilme şiddet faktörü, çatlak yolunun şekli üzerinde etkili olmaktadır.
9. Standart ve tashihli dişlilerde, çatlak uzunluğunun artmasıyla Mod I gerilme şiddet faktörünün sürekli artma eğilimi gösterdiği, Mod II gerilme şiddet faktörünün ise azalma eğilimi gösterdiği görüldü.

THE EFFECT OF ADDENDUM MODIFICATION COEFFICIENT ON CRACK PROPOGATION PATH AT SPUR GEAR TOOTH

In this study, the effects of addendum modification coefficient on crack propagation path and stress intensity factors, are investigated. Addendum modification coefficient used in this analysis are $x = \pm 0.15, \pm 0.30, \pm 0.50$. For each one of different addendum modification coefficient a model is established.

An initial crack being normal to the free surface at the most critically stressed point is placed at the tensile fillet of standard and profile modified spur gears. Mod I and Mod II stress intensity factors are computed by using the finite element technique. The crack propagation path is obtained by means of Mod I and Mod II stress intensity factors. FRANC software is used to simulate crack and crack propagation at standart and profile modified spur gears.

Crack beginning place moves to downward on the free fillet surface with a increasing x . Although K_{II} stress intensity factors are significantly less than K_I stress intensity factors, K_{II} clearly effects on the shape of the crack propagation path.

Keywords: Addendum Modification Coefficient, Crack Propagation, Spur Gear.

KAYNAKÇA

1. Honda, H., Conway, J.C., "An analysis by Finite Element Techniques of the Effects of a Crack in the Gear Tooth Fillet and its Applicability to Evaluating Strength of the Flawed Gears", *Bulletion of the JSME*, Vol. 22, No. 174, December 1979.
2. Flaker, J., Pehan, S., Abersek, B., "Determination of Service Life of Gears with Cracks Initiated in Tooth Root", *Proc. ECF8-Fracture Behaviour and Design of materials and Structures*, pp. 1678-1681, Torino, Italy, 1990.
3. Nicoletto, G., "Approximate Stress Intensity Factors for Cracked gear Teeth", *Engineering Fracture Mechanics*, Vol. 44, No.2, pp. 231-242, 1993.
4. Abersek, B., Flaker, J., "Stress Intensity Factor for Cracked Gear Tooth", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics* 20, pp. 99-104, 1994.

5. Daniewicz, S.R., Collins, J.A., Houser, Donald R., "The Stress Intensity Factor and Stiffness for a Cracked Spur Gear Tooth", *Journal of Mechanical Design*, Transactions of the ASME, Vol. 116, No.3, pp. 697-700, Sept. 1994.
6. Lewicki, D.G., Ballarini, R., "Effect of Rim Thickness on Gear Crack Propagation Path", *Journal of Mechanical Design*, Vol. 119, March 1997.
7. Lewicki, D.G., Ballarini, R., "Rim Thickness Effects on Gear Crack Propagation Life", *International Journal of Fracture*, No. 87, pp. 59-86, 1997.
8. Lewicki, D.G., Ballarini, R., "Gear Crack Propagation Investigations", *Gear Technology*, Vol. 14, No. 6, pp. 18-24, Nov-Dec 1997.
9. Kato, M., Deng, G., Inoue, K., Takatsu, N., "Evaluation of the Strength of Carburized Spur Gear Teeth Based on Fracture Mechanics", *JSME International Journal*, Series C, Vol. 36, No. 2, 1993.
10. Inoue, K., Kato, M., "Crack Growth Resistance Due to Shot Peening in Carburized Gear", *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 11, No. 5, pp. 973-979, September-October 1995.
11. Oda, S., Shimatomi, Y., "Effects of Addendum Modification on Bending Fatigue Strength", *Bulletion of the JSME*, Vol 20, No.139, pp. 116-121, January, 1977.
12. Oda, S., Shimatomi, Y., "Effects of Addendum Modification on Bending Fatigue Strength", *Bulletion of the JSME*, Vol 20, No 139, pp. 122-129, 1977.
13. Oda, S., Tsubokura, K., "Effects of Addendum Modification on Bending Fatigue Strength", *Bulletion of the JSME*, Vol 24, No 190, pp. 716-722, April, 1981.
14. Oda, S., Tsubokura, K., "Effects of Addendum Modification on Bending Fatigue Strength of Spur Gears with Higher Pressure Angle", *Bulletion of the JSME*, Vol 25, No 209, pp. 1813-1820, November, 1982.
15. Günay, D., Özer, H., Aydemir, A., "The Effect of Addendum Modification Coefficient on Tooth Stresses of Spur Gear", *Mathematical & Computational Applications*, Vol 1, No 1, p. 36-43, 1996.
16. Günay, D., Özer, H., Aydemir, A., "Düz Dişlilerde Jant Kalınlığının Diş Kökü Gerilmeleri Üzerindeki Etkisi", *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 3, Sayı 1, s. 299-304, 1997.
17. Günay, D., Özer, H., Aydemir, A., "Düz Dişlilerde Diş Kökü Gerilmelerinin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Analizi", *II. Ulusal Hesaplamalı Mekanik Konferansı*, 4-6 Eylül 1996, Trabzon.
18. Günay, D., Özer, H., Aydemir, A., "Tooth Stresses in Addendum Modified Spur Gears", *Proceedings of the XII Polish Conference on Computer Methods in Mechanics*, Poznan, Poland, 5-8 May, 1997.
19. Swenson D., James, M., "FRANC2D/L: a Crack Propagation Simulator for Plane Layered Structures, Version 1.4 User's Guide", Kansas State University, Manhattan, Kansas.
20. Cotterel, B., Rice, J.R., "Slightly Curved or Kinked Cracks", *International Journal of Fracture*, Vol.16, No. 2, pp. 155-169, 1980.

Mustafa Tayanç
Yardımcı Doçent

Gülcan Toktaş
Araştırma Görevlisi

Makina Müh. Bölümü
Balıkesir Üniversitesi
Çağış Kampüsü
10145 BALIKESİR

6063 Al Alaşımının Yaşlandırılmasında Çözündürme Sıcaklığının İç Yapı ve Yorulma Özelliklerine Etkisi

Bu çalışmada beş farklı çözündürme sıcaklığından (510, 520, 530, 540 ve 550°C) yapay yaşlandırılan 6063 alüminyum alaşımında, çözündürme sıcaklığının iç yapı, akma, çekme ve 10^7 çevrim için yorulma dayanımına etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinden; çözündürme sıcaklığı 530°C'ye kadar artarken dayanım değerleri ve yorulma dayanımı/çekme dayanımı (σ_y/σ_c) oranının arttığı, bunun üzerindeki sıcaklıklarda yaşlandırılan numunelerde ise azaldığı görülmüştür. 530°C sıcaklıkta çözültüye alındıktan sonra yaşlandırılan numunelerin iç yapısında çökelen Mg_2Si fazının daha ince ve homojen bir dağılım gösterdiği gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 6063 Al Alaşımı, Yaşlanma, Yorulma, İç Yapı.

GİRİŞ

Alüminyum-Magnezyum-Silisyum alaşımları (AA 6000 serisi) orta derecede mukavemet, korozyon ve gerilimli korozyon direnci gerektiren uygulamalarda kullanılan alaşımlardır. AA 6000 serisi alaşımlar mimari uygulamalarda, hava, deniz, otomotiv ve elektrik endüstrilerinde geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Bu alaşımların dayanımları ekstrüzyon işlemini müteakip 200°C 'nin altındaki sıcaklıklarda yapılan yapay yaşlandırma işlemleri ile artırılabilir [1]. Ekstrüzyon ile üretilen alüminyum ürünlerinin %80'inden fazlasını AA 6000 serisi alaşımlar, bunların %70'ini de AA 6063 alaşımı oluşturmaktadır [2]. 6063 alaşımlı malzemeler inşaat sektöründe; kapı, pencere çerçeveleri ve panjur profillerinin imalinde, otomobil endüstrisinde; araba gövde panelleri ve tır kasası profilleri yapımında, mobilya, askı, resim çerçevesi ve yüksek mukavemetli iletkenlerin üretiminde kullanılırlar [3].

Bu çalışmada yaşlandırma öncesi çözündürme

sıcaklığının (510-520-530-540 ve 550°C) 6063 alaşımının iç yapı ve yorulma dayanımına etkisi incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneyler üç grupta yapılmıştır. Birinci grupta 6063 alaşımı beş farklı çözündürme sıcaklığında 45 dakika tutularak 170°C' de 11 saat yapay yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. İkinci grupta yaşlandırılan numunelerin metalografik yapıları incelenmiştir. Üçüncü grupta ise yaşlandırılmış numuneler yorulma deneylerine tabi tutulmuşlardır.

Kullanılan Malzeme ve Özellikleri

Deneylerde Seydişehir Alüminyum Tesisleri'nde üretilmiş ve 350-400°C sıcaklıkları arasında ekstrüzyon işlemi uygulanmış 16 mm çaplı silindirik Etial-60 çubukları kullanılmıştır. Malzemenin spektral analizi ve yaşlandırma işlemi uygulanmadan evvel yapılan bir seri deneylerden elde edilen mekanik özellikleri Tablo 1 'de verilmiştir.

Tablo 1. 6063 alaşımının kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

Bileşim (% Ağırlık)	Cu	Fe	Si	Zn	Mn	Mg	Ti	Cr	Diğerleri	Toplam
	0.10	0.30	0.3-0.7	0.10	0.20	0.4-0.9	0.10	0.05	0.05	0.15
Mekanik Özellikler	Akma Dayanımı [MPa]		Çekme Dayanımı [MPa]		% A ₅	% Z	Darbe enerjisi [J]		Sertlik [BSD]	
	63.7		119		25.3	73.5	77		50.6	

Isıl İşlem Deneyleri

Isıl işlem deneylerinde 1280°C sıcaklık değerine ulaşabilen yatay borulu atmosfer kontrollü Nobertherm marka programlanabilir ısıtıl işlem fırını kullanılmıştır. Yorulma ve iç yapı numuneleri beş farklı çözündürme sıcaklığında (510, 520, 530, 540 ve 550°C) 45 dakika tutulup oda sıcaklığında beş gün ön yaşlandırmanın ardından 170°C 'de 11 saat süreyle yapay olarak yaşlandırılmışlardır. Numuneler çözündürme sıcaklığındaki tavlama işleminden sonra suda, yapay yaşlandırma işleminden sonra ise havada soğutulmuşlardır.

Yaşlandırma koşullarının (çözündürme sıcaklık ve süresi, yaşlandırma sıcaklık ve süresi) belirlenmesinde daha önce yapılan konu ile ilgili çalışmalardan faydalanılmıştır [4]. Çözündürme sıcaklıklarının seçiminde alaşımın katı çözünürlüğünü belirleyen solvüs-solidüs sıcaklık aralığında ve ötektik sıcaklığın altında olması göz önüne alınmıştır.

Metalografik Muayene

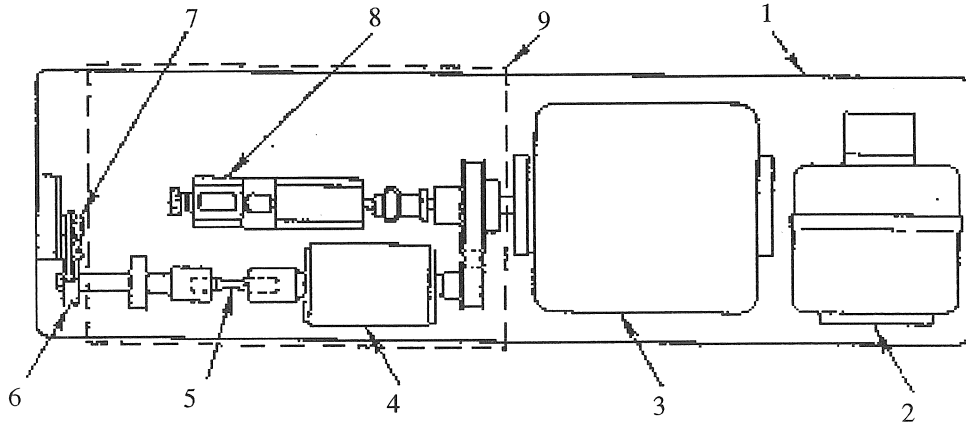
16 mm çapında ve 20 mm yüksekliğindeki ısıtıl işlem görmüş (çözündürme + yaşlandırma) numuneler standart metalografik yöntemlerle hazırlanmıştır. Yüzeyler sırasıyla 400, 600, 800, 1000 ve 1200 no'lu zımparalarla zımparalanmış ve

elmas pasta ile parlatma işlemini müteakip numune yüzeyleri 10-20 saniye süreyle Keller ayırıcına (2-5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1 ml HF, 95 ml Su) daldırılarak dağlanıp ışık mikroskobu ile 600X büyültmede iç yapı fotoğrafları çekilmiştir.

Yorulma Deneyleri

Malzemelerin yorulma özellikleri uygulanan gerilmenin türü, büyüklüğü, frekansı, deney numunesinin boyutu, imalat şekli (döküm-hadde-ekstrüzyon vb.), ısıtıl işlem durumu (çözündürme tavlama süresi-yaşlandırma tavlama süresi), kimyasal bileşim, yüzey pürüzlülüğü, çevresel koşullar v.b. birçok parametreden etkilenmektedir [5]. Yorulma deneylerinde uygulanan gerilmenin büyüklüğü dışındaki tüm parametreler değiştirilmeden (aynı tutularak) ve tam değişken gerilmenin büyüklüğü 10-140 MPa. arasında değiştirilerek çözündürme sıcaklığının yorulma dayanımına etkisi incelenmiştir.

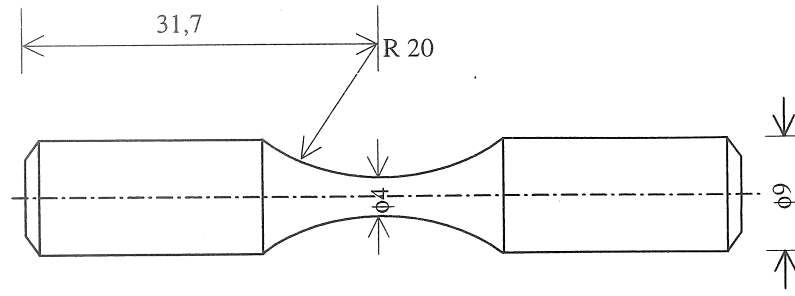
Deneylerde 2850 dev/dak devirli ve numune kırıldığında elektrik motoru akımını kesen bir mikro anahtara sahip Hi-Tech marka döner eğme gerilmeli yorulma cihazı kullanılmıştır. Yorulma deneylerinde kullanılan cihazın üst görünüş resmi Şekil 1 'de verilmiştir.



Şekil 1. Döner Eğme Gerilmeli Yorulma Cihazı. 1.Taban, 2.Açma kapama düğmesi, 3.Motor, 4.Merkezleme kirişi, 5.Yorulma numunesi, 6.Yükleme ve dengeleme sistemi, 7.Mikroanahtar, 8.Devir sayıcı, 9.Koruyucu panel

Yorulma deneylerinde genel olarak her bir çözündürme sıcaklığı (510, 520, 530, 540 ve 550°C) için 12 adet numune, 4 adet gerilme noktası ve her

nokta için de 3 adet numune kullanılmıştır [6]. Yorulma deneylerinde kullanılan numunenin şekli ve boyutları Şekil 2 'de verilmiştir.



Şekil 2. Yorulma numunesinin şekli ve boyutları

Cihazın uyguladığı eğme gerilmesinin büyüklüğü aşağıdaki bağıntı ile verilmiştir [7].

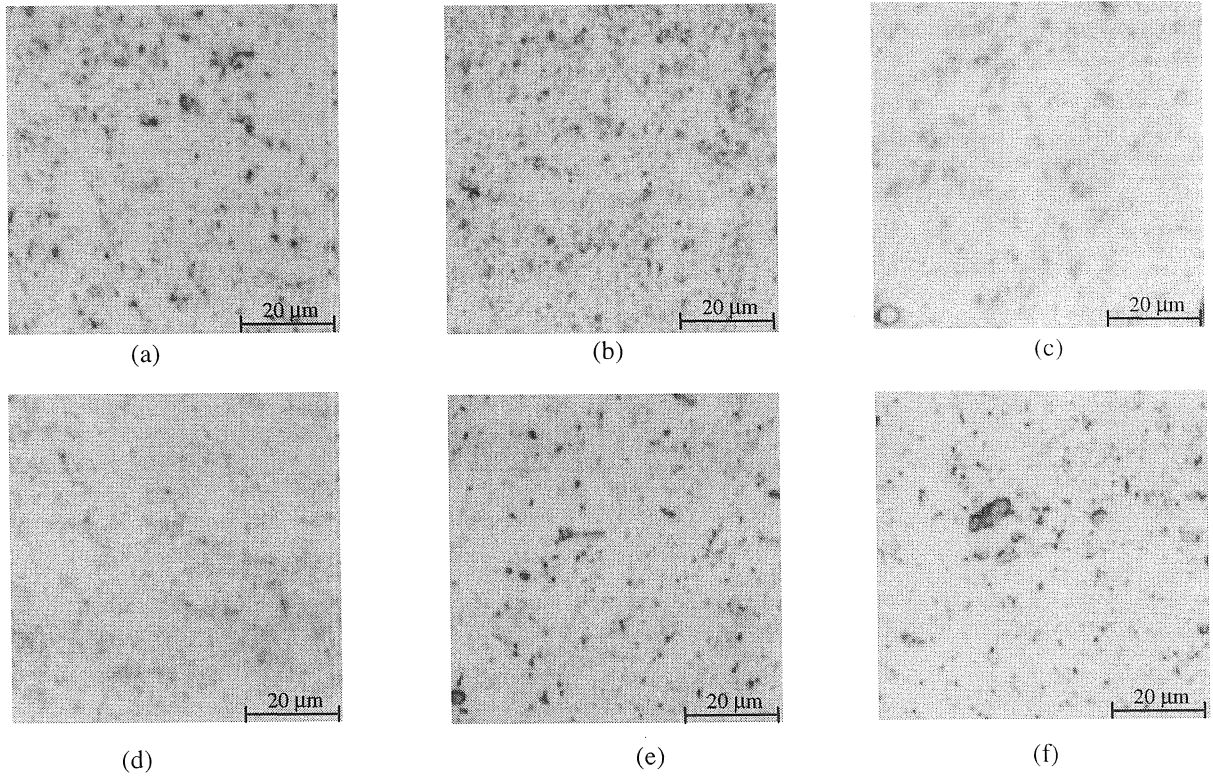
$$\sigma = \frac{125,7 * P * 32}{\pi * 4^3} = 20 * P \quad (N/mm^2) \quad (1)$$

Burada tekrarlı gerilme σ olup büyüklüğü 0,5-7 N arasında yükler kullanılarak formül 1'e göre hesaplanmış, esas alınan yük ve gerilme çevrim sayısı literatür ve uygulamadaki değerlere göre belirlenmiştir.

DENEYLERİN SONUÇLARI VE İRDELEME

Metalografik Deneylerin Sonuçları

Beş farklı sıcaklıkta (510-520-530-540 ve 550°C) 45 dakika bekletilerek suda soğutulup 5 gün ön yaşlandırmanın ardından 170°C 'de 11 saat süreyle yapay yaşlandırılan numunelerin ve ısıtma işlem görmemiş numunenin ışık mikroskobu ile 600X büyütmede çekilen iç yapı fotoğrafları Şekil 3 ' te verilmiştir.



Şekil 3. Yaşlandırılmış numunelerin iç yapılarının çözündürme sıcaklıkları ile değişimi.
(a) Geldiği gibi, (b) 510°C, (c) 520°C, (d) 530°C, (e) 540°C, (f) 550°C

Literatürden faydalananak Şekil 3 'te iç yapı fotoğraflarındaki siyah noktaların yaşlandırma işlemi sonucunda çökelen fazı (Mg_2Si) gösterdiği söylenebilir [8]. Mikroyapılardan görüldüğü üzere fazın (Mg_2Si) en ince, sık ve homojen dağıldığı iç yapı çözündürme sıcaklığının $530^\circ C$ olduğu işlemiden sonraki yaşlandırma işleminde görülmektedir.

$530^\circ C$ çözeltiye alma sıcaklığında homojen, ince ve sık dağılmış ikinci faz (Mg_2Si) miktarı, bu sıcaklıkta uniform bir katı eriyik oluşması, bu sıcaklıktan hızlı soğutma esnasında aşırı doymuş katı çözelti içerisinde oluşan çok sayıda kusurun (boşluk ve dislokasyon) ikinci fazın oluşabilmesi için daha çok sayıda çekirdekci oluşumunu sağlamasıyla açıklanabilir. Bundan başka yüksek çözeltiye alma sıcaklıklarında katı eriyik içerisinde daha fazla Si atomu çözüneceğinden ve Si atomları da Mg atomlarına nazaran daha yavaş yayındığından Si atomunun çekirdek oluşumunda etkili olması, yüksek sıcaklıkta çok sayıda çözünen Si atomu sayısının ikinci faz oluşması için çekirdekci sayısının artmasına sebep olabileceği de ikinci fazın (Mg_2Si) iç yapıda ince, sık ve homojen dağılmasına neden olabilir [9].

$540^\circ C$ ve $550^\circ C$ çözündürme sıcaklıklarında iç yapıdaki Mg_2Si fazının daha kaba taneli ve daha az sayıda olduğu kolayca görülmektedir (Şekil 3). Bu fazın miktarının azalmasının sebebi yüksek sıcaklıklardan hızlı soğutma esnasında oluşan aşırı doymuş katı eriyikte tane sınırlarında çökelebileceği düşünülen düzensiz mikron boyutlu saf Si çökeltilerinin yaşlandırmada yeterli miktarda dengeli Mg_2Si fazının çökmesine daha az imkan vermesine bağlanabilir [10].

Yorulma Deneylerinin Sonuçları

Beş farklı çözündürme sıcaklığında ($510-520-530-540$ ve $550^\circ C$) 45 dakika tavlansın suda soğutularak çözeltiye alma işleminden sonra 5 gün ön yaşlandırmanın ardından $170^\circ C$ 'de 11 saat yapay yaşlandırılan yorulma numuneleri ile yapılan yorulma deneyi sonuçları Şekil 4 'te verilmiştir

Şekil 4'ün incelenmesinden çözündürme sıcaklıkları $510-530^\circ C$ arasında arttığında noktaların dağılımından da görüldüğü gibi yorulma dayanımlarının az miktarda arttığı gözlenebilir. $530^\circ C$ 'de çözeltiye alınan numuneler 10^6 'nın üstündeki çevrim sayılarında maksimum yorulma dayanımı göstermişlerdir. Bu sonuç daha önce 6063 alaşımı ile aynı yaşlandırma koşullarında ($T_{\text{çöz}}=510, 520, 530, 540$ ve $550^\circ C$; $t_{\text{bekleme}}=45$ dak; $T_{\text{yaş}}=170^\circ C$; $t_{\text{yaş.süresi}}=11$ saat) yapılan çekme deneyi sonuçları ile de uygunluk göstermektedir [9]. $510-$

$530^\circ C$ çözündürme sıcaklıkları arasında akma ve çekme dayanımlarında belirgin artışlar görülmüştür. Bundan dolayı $510-530^\circ C$ arasında yorulma dayanımının çekme ve akma dayanımına paralel olarak artışı uygun ve beklenen bir sonuçtur.

$510-530^\circ C$ arasında yorulma dayanımındaki bu artışın çözündürme sıcaklığı arttıkça tam bir homojen katı eriyik elde edildiğine ve su verme sonucu oluşan aşırı doymuş katı eriyik içerisinde çekirdekci ve daha sonra Mg_2Si oluşumu için daha çok yüksek enerjili kusur bölgelerinin (dislokasyon, boşluk...) oluşumuna ve oluşan ikinci fazların daha küçük ve sık olarak matrikste dağılmasına bağlanabilir.

Çözündürme sıcaklıkları 540 ve $550^\circ C$ arasında değiştiğinde yorulma dayanımı değerlerinde belirgin düşüşler görülmektedir (Şekil 4). Bu sonuç ta yine daha önce aynı alaşım ile aynı yaşlandırma koşullarında yapılan çekme deneyleri sonucu elde edilen çekme ve akma dayanımlarında meydana gelen değişimlerle uyum içindedir [9].

Tablo 2. Çözündürme sıcaklığının akma ve çekme dayanımına etkisi [9]

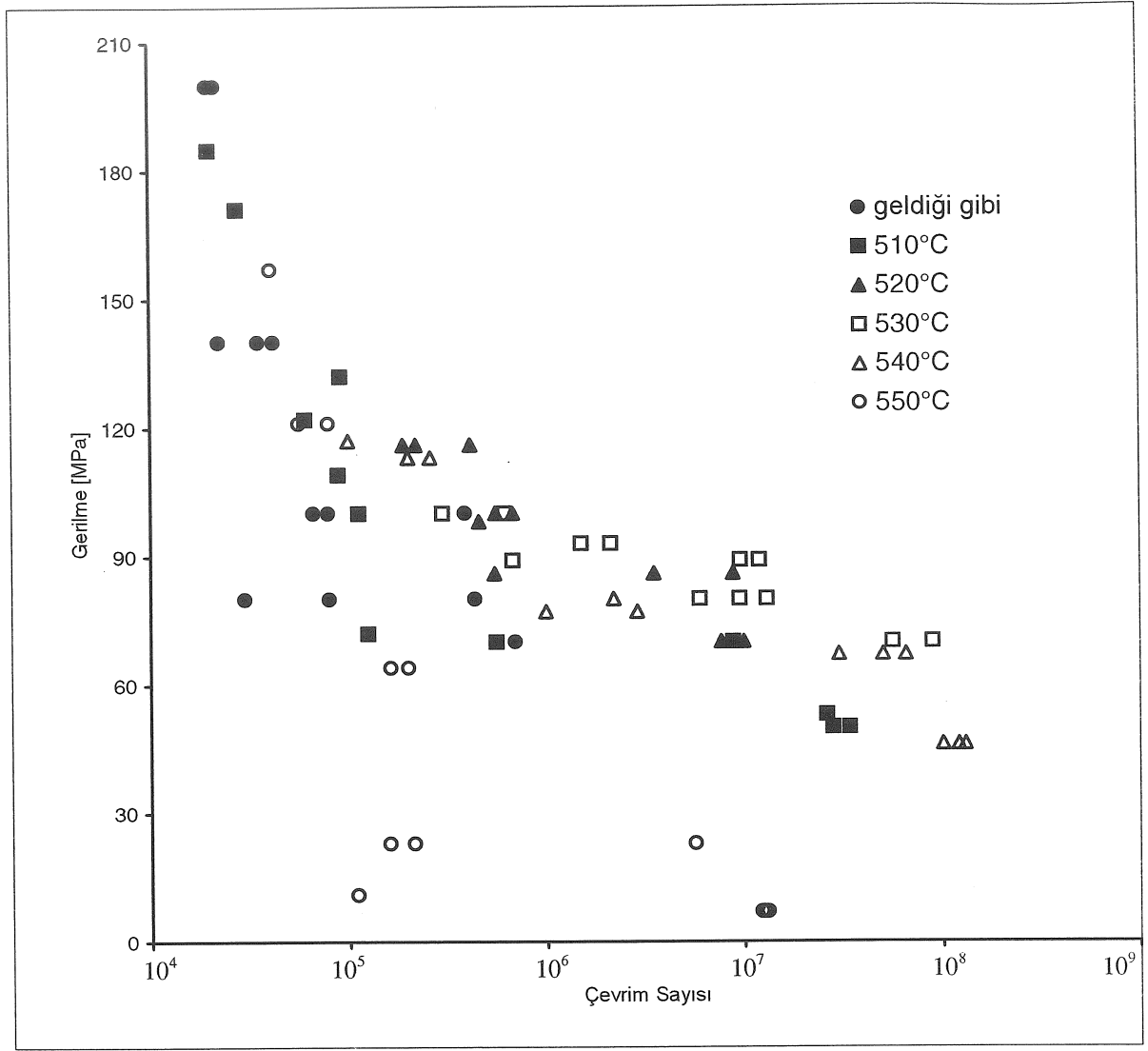
Çözündürme sıcaklığı [$T_c, ^\circ C$]	$\sigma_{(0,2)}$ [MPa]	σ_c [MPa]
510	214	267
520	240	275
530	268	281
540	249	264
550	243	257

Çözündürme sıcaklıkları ile yorulma, akma ve çekme dayanımlarının değişimi Şekil 5 'te verilmiştir.

540 ve $550^\circ C$ çözündürme sıcaklıklarında yorulma dayanımlarındaki azalma iç yapı ile ilişkilendirilerek, iç yapıda oluşan ikinci fazların daha az ve kaba olmasına ve bunların da uygulanan tekrarlı eğme gerilmelerine çok fazla direnç göstermemesine bağlanabilir. $530^\circ C$ üzerindeki çözündürme sıcaklıklarında yorulma dayanımında meydana gelen düşme miktarı çekme ve akma dayanımında meydana gelenlerden daha fazladır (Şekil 5).

Çözündürme sıcaklığına bağlı olarak 10^7 çevrim sayısı için yorulma dayanımı σ_y 'nin σ_c 'ye oranı (σ_y/σ_c) Şekil 6'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi $530^\circ C$ çözündürme sıcaklığında σ_y/σ_c oranı maksimum değere ulaşmaktadır ($\sigma_y/\sigma_c = 0,284$).

William ve Pei-Chung [11] alüminyum alaşımlarının yüksek çevrim sayısındaki yorulma ömürlerini sonlu eleman yöntemi kullanarak incelemişler ve bu çalışmalarında alüminyum alaşımlarında ($6061-T^6, 2014-T^6, 2024-$

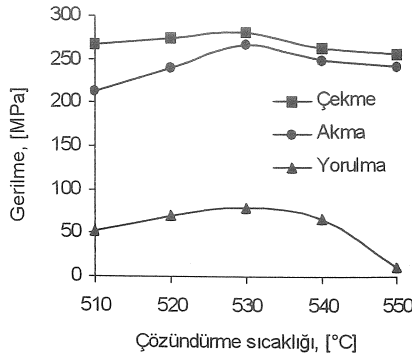


Şekil 4. Çözündürme sıcaklığına bağlı olarak yorulma değerlerinin değişimi

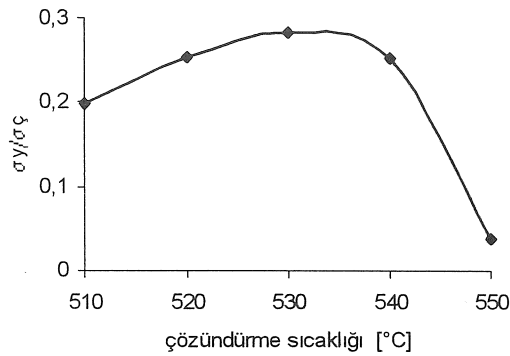
T^6 7075- T^6) 10^8 çevrim sayısındaki yorulma dayanımının çekme dayanımına oranını (σ_y/σ_c) 0,26 olarak bulmuşlar ve bunun da deneysel sonuçlarla uygunluğunu ispatlamışlardır. Bu çalışmada çözündürme sıcaklıkları 520, 530 ve 540°C olduğunda 10^7 çevrim sayısındaki yorulma dayanımı/çekme dayanımı oranları da sırasıyla (0,254-0,284 ve 0,253) olmakta ve bu değerler de $\sigma_y/\sigma_c=0,26$ oranına uygunluk göstermektedir.

Jiang , Hong, Lei [12] 6063 alaşımını 530°C 'de 30 dakika süreyle çözeltiye alarak 160°C 'de 1 saat ve 64 saat yapay yaşlandırarak yaptıkları çekme ve

yorulma deneylerinde yetersiz yaşlanmış numune (160°C 'de 1 saat bekletilen) için $5 \cdot 10^6$ yük çevrim sayısında σ_y/σ_c oranını 0,81, tam yaşlanma durumunda ise (160°C 'de 64 saat bekletilen) 0,64 olarak bulmuşlardır. Hemen hemen aynı yaşlandırma koşullarında (530°C/45 dakika/5 gün ön yaşlandırma /170°C/11 saat) 10^7 çevrim sayısı için bu değer 0,284 olarak bulunmuştur. σ_y/σ_c oranları arasındaki bu belirgin farkın çevrim sayısının bu çalışmadakinin yarısı kadar olmasından ve yaşlandırma koşullarının farklılığından ileri geldiği söylenebilir.



Şekil 5. Çözündürme sıcaklığı ile akma, çekme ve 10^7 çevrim için yorulma dayanımlarının değişimi



Şekil 6. Çözündürme sıcaklığına bağlı olarak σ_y/σ_c oranının değişimi

SONUÇLAR

Çözeltiye alma sıcaklığının iç yapı, akma, çekme ve yorulma dayanımlarına etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen bulgulardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

1. Çözeltiye alma sıcaklığı 510-550°C arasında değiştirildiğinde, ikinci faz (Mg_2Si) partiküllerinin matrikste en ince, en sık ve homojen olarak dağıldığı sıcaklık 530°C olarak tespit edilmiştir.
2. Çözündürme sıcaklığı 510-530°C arasında artarken çekme, akma ve yorulma dayanımları artmaktadır. Bu sıcaklık aralığında σ_y/σ_c oranı doğrusal bir artış göstermektedir.
3. Çözündürme sıcaklığı 530-550°C arasında arttığında akma, çekme ve yorulma dayanımları azalmakta, yorulma dayanımındaki azalma daha fazla olmaktadır.

4. Yorulma ve akma dayanımının çözündürme sıcaklığına (T_c) ve iç yapıya duyarlılığının çekme dayanımına oranla daha fazla olduğu gözlenmektedir.
5. 10^7 çevrim sayısında en yüksek yorulma dayanımı 530°C 'de çözeltiye almadan sonra yaşlandırılan numunelerde elde edilmiştir.
6. 10^7 çevrim sayısındaki yorulma dayanımının çekme dayanımına oranının (σ_y/σ_c) en yüksek olduğu değer 530°C 'de 45 dakika çözeltiye alınan ve 170°C 'de 11 saat yapay yaşlandırılan numunelerde 0,284 olarak belirlenmiştir.

THE EFFECT OF SOLUTION TEMPERATURE ON MICROSTRUCTURE AND FATIGUE PROPERTIES IN AGEING OF 6063 AL ALLOY

In this study, the effect of solution temperature to microstructure, yield, tensile and fatigue strength of 10^7 cycles in 6063 aluminium alloy that is artificially aged from five different solutionizing temperatures (510, 520, 530, 540 and 550°C) is investigated experimentally. From the test results, it is obtained that the solutionizing temperature increasing to 530°C, strength values and ratio of fatigue strength/tensile strength (σ_f/σ_t) are increased and in the specimens artificially aged at temperatures above this, the values are decreased. In the microstructure of artificially aged specimens after solutionized at the temperature of 530°C, it is observed that the precipitated Mg_2Si phase is finer and has more homogeneous distribution.

Keywords: 6063 Al Alloy, Ageing, Fatigue, Microstructure.

KAYNAKÇA

1. Mechanical Spectroscopy of Al-Mg-Si Industrial Alloys, www.igahpse.epfl.ch/mmc/almgsi.html.
2. Onurlu S., Homojenizasyonun AA 6063 Alüminyum Alaşımının İç Yapısı ve Özelliklere Etkisi, *Ph.D.Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
3. Edgar A., Starke JR., Heat Treatable Aluminium Alloys, *Treatise on Materials Science and Technology*, vol:3
4. Şimşek A.T., Al-Mg-Si Alaşımlarını Oda Sıcaklığında Ön Yaşlandırmanın Yapay Yaşlandırmadan Sonraki Mekanik Özelliklere Etkisi, 2. Alüminyum Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 1987.

5. Tayanç M., Soğuk Deformasyonun Çelik Halat Tellerinin Yorulma ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi, 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi Bildiriler Kitabı, cilt 1, sayfa 823-828, Mayıs 1997, İstanbul.
6. Metallerin Yorulma Deneyi Genel Prensipleri, Türk Standartları Enstitüsü, TS 1487, Şubat 1974.
7. Instruction Manual, Rotating Fatigue Machine, HSM.19mk.2., Issue 1. August, 1993.
8. Zhang J., Wang Y. ve Yang B. Effects of Si Content on the Microstructure and tensile strength of an in situ Al/Mg₂Si Composite *J. Mater. Res.*, Vol 14, No 1, Jan 1999.
9. Tayanç M., Zeytin G., Yaşlandırma Koşullarının 6063 Alaşımının Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, 1. Isıl İşlem Sempozyumu Bildiriler Kitabı, sayfa 59-69, Ekim 1998, İstanbul.
10. Moons T., A Comparative Study of Two Al-Mg-Si Alloys for Automotive Applications, *Scripta Materialia*, 35,8,939, 1996.
11. William J. Baxter ve Pei-Chung Wang, Finite Element Prediction of High Cycle Fatigue Life of Aluminium Alloys, *Metallurgical Transactions A*, Vol. 21A, pp. 1151-1159, May 1990
12. Jiang D. M., Hong B. D.; Lei T. C., Fatigue Fracture Behaviour of Underaged Al-Mg-Si Alloy, *Scripta Metallurgica et Materialia*, Vol. 24, pp. 651-654, 1990, U.S.A.

Oygun Eren
Makina Y. Müh.

Bilgin Kaftanoğlu
Profesör

Makina Mühendisliği Bölümü
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
06531 ANKARA

Altı Serbestlik Dereceli Bir Endüstriyel Robotun Tasarımı, İmalatı ve Çalıştırılması

Yapılan bu çalışma kapsamında altı serbestlik dereceli bir endüstriyel robotun tasarımı, imalatı ve montajı yapılmış ve robot deneme çalışmaları da tamamlanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Robotun tasarımında bilgisayar destekli tasarım (CAD) teknikleri yoğun bir şekilde kullanılmıştır. Aynı şekilde fiziksel montajdan önce bilgisayar ortamında üç boyutlu sanal montaj yapılmış ve bu sayede oluşabilecek montaj problemleri önceden çözümlenebilmiştir. Üretilen robot ileri akıllı kontrol çalışmalarının uygulanabileceği bir platform olarak kullanılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Endüstriyel Robot, Robot İmalatı, Robot Montajı

GİRİŞ

Endüstriyel robotlar, çeşitli işlerin gerçekleştirilmesi için değişik biçimlerde planlanmış hareketler aracılığıyla, malzemeleri, parçaları ve cihazları taşımak için tasarlanmış yeniden programlanabilen çok fonksiyonlu makinelerdir [1].

Robotlar günümüzde çoğunlukla programlanabilir ve esnek otomasyon uygulamalarında kullanılmaktadır. Bir endüstriyel robot, temel olarak, verilen bir görevi yerine getirmek için programlanabilen hareketli bir kola sahiptir. Robot, programlandığında, farklı bir program hafızasına yükleninceye kadar, o programı tekrarlar. Bu programlanabilirlik özelliği, robotun, bir çoğunda farklı otomatik veya yarı otomatik ekipmanla birlikte çalışmasını gerektiren çeşitli endüstriyel işlemlerde çalıştırılabilmesini sağlar.

Yapılan çalışmanın amacı, altı serbestlik dereceli bir endüstriyel robot prototipinin tasarlanması, imalatı, montajı ve deneme çalışmalarının gerçekleştirilmesidir. Üretilen robot, endüstride taşıma, yükleme-boşaltma, kaynak veya boyama işlemlerinde kullanılabilecektir.

ROBOT TASARIMI

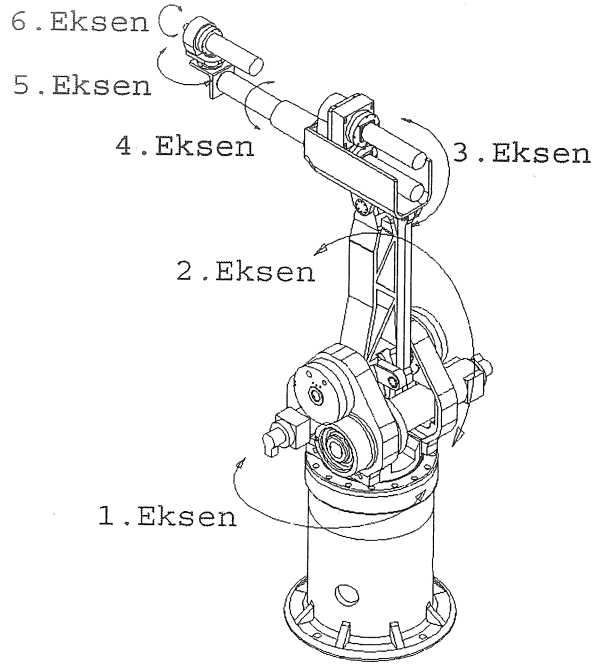
Bu proje kapsamında altı serbestlik dereceli bir endüstriyel robot tasarımı yapılmıştır. Robotun tüm eklemleri döner tipte olup, altı adet servo kontrollü alternatif akım motoru tarafından tahrik edilmektedir. Robotun hareket eksenleri Şekil 1 de gösterilmiştir.

Robotun kullanılabileceği uygulamalar, sahip olabileceği en uygun çalışma hacmi ve eksenleri tahrik edecek motorların yerleşimi gözönüne alınarak çeşitli tasarım alternatifleri oluşturulmuştur.

İlk olarak en basit ve etkili çözüm olan doğrudan tahrik değerlendirilmiştir. Doğrudan tahrik alternatifinde herhangi bir aktarma sistemi kullanılmaması hem dinamik cevap yönünden bir iyileşme sağlamakta hem de karmaşıklığı azaltıcı yönde etki etmektedir. Ancak özellikle ikinci ve üçüncü eksen tahrik sistemlerinin ağırlığı, neredeyse tüm enerjinin robotun bağlantı elemanlarının hareket ettirilmesi için kullanılmasını dolayısıyla faydalı yük taşıma kapasitesinin çok büyük oranda azalmasını gerektirmektedir ki bu durumda tam bir doğrudan tahrik düzeneği uygun bir çözüm olarak görülmemiştir.

İkinci ve üçüncü eksenlerin motor ve aktarma sistemlerinin ağırlık ve boyutları gözönüne alındığında bu sistemlerin robotun taban kısmına yakın yerleştirilmesine karar verilmiştir. Her iki eksen için motor torkunu bağlantı elemanlarına iletebilmek için sırasıyla dişli kayış, zincir ve dört çubuk mekanizmalarının kullanıldığı alternatifler değerlendirilmiş ve sonuçta ikinci eksen için doğrudan tahrik, üçüncü eksen için ise dört çubuk mekanizması kullanılmasına karar verilmiştir.

Robotun son üç eksen için içerisinde doğrudan tahrik, kardan mili, dişli kayış ve konik dişlilerin bulunduğu farklı düzenlemeler değerlendirilmiş ve sonuçta altıncı ve dördüncü eksenlerde doğrudan tahrik ve beşinci eksen için ise dişli kayış ve konik dişlilerin kullanıldığı bir bir düzende karar kılınmıştır.



Şekil 1. Hareket eksenleri

Tasarlanan mekanizma 9 adet eklem ve kol elemanından oluşmaktadır. Robotun kinematik ve dinamik analizleri mekanizmanın oluşturulan kinematik zinciri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bilinmeyen reaksiyon kuvvetlerini ve karşılık gelen denklemleri belirleyebilmek için, mekanizma iki alt grup halinde incelenmiştir. Yapıyı oluşturan bağlantı elemanları ve bunların dizilişi Şekil 2 de gösterilmiştir.

Yapılan kinematik ve dinamik analizlerde kullanılan Hartenberg-Denavit parametreleri Tablo 1 'de verilmiştir.

Kinematik ve dinamik analizlerden sağlanan veriler kullanılarak, amaçlanan eklem ivmelenme ve hız değerleri Tablo 2 görüldüğü gibi belirlenmiştir.

Tablo 2 'de verilen değerleri doğrudan motorlardan karşılamak güç olduğu ve bağlantı elemanlarının tork ihtiyaçlarının yüksek olması gözönüne alınarak, motorlarla eksenler arasında moment değiştirici mekanizmalar kullanılmasını gerektirmiştir. Bu amaçla seçilen mekanizmalar Cyclo firması tarafından üretilen dişli kutularıdır. Bu dişli kutuları tiplerine bağlı olarak 1/89 ve 1/119 çevrim oranlarına sahiptir.

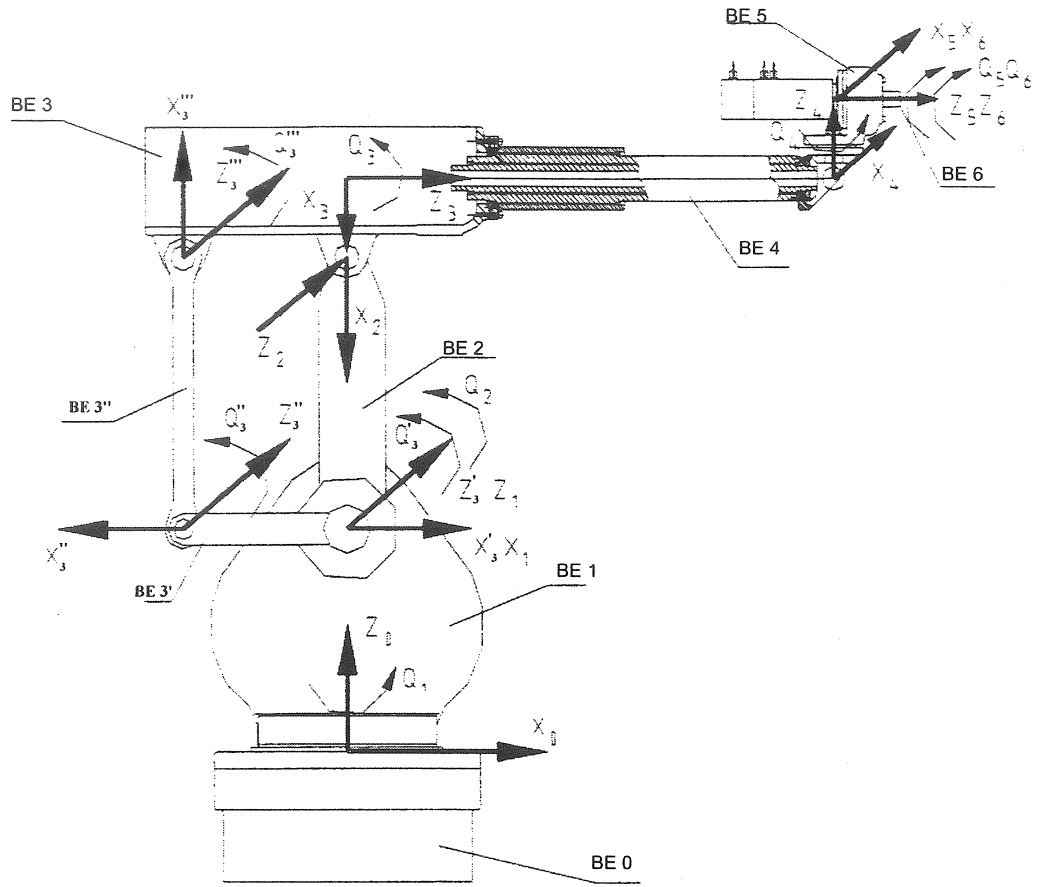
Robotun bazı eksenlerinde Cyclo dişli kutuları dışında başka tip iletim mekanizmaları da

kullanılmıştır. Bunlar düz ve konik dişliler ile dişli kayış sistemleridir. Uygulanan iletim sistemlerinin robotun eksenlerine göre dağılımı Tablo 3 'de verilmiştir.

Motorların yerleşimlerinin belirlenmesi ve uygun iletim sistemlerinin seçilmesinden sonra, bağlantı elemanlarının tasarımına geçilmiştir. Bağlantı elemanlarının tasarımında gözönüne alınan ana kriterler mukavemet, sehim ve özellikle üst kısımlar için ağırlıktır.

Taban kısmından başlanılarak, tüm bağlantı elemanlarının ve iletim sistemlerinin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bağlantı elemanlarının tasarımının ardından, eklemlerde kullanılacak rulmanlı yatakların seçimi ve hesabı gerçekleştirilmiştir.

Bağlantı elemanlarının ön tasarımları tamamlandıktan sonra, bütün elemanların iki ayrı bilgisayar destekli tasarım (CAD) programı kullanılarak üç boyutlu katı modelleri oluşturulmuştur. Bu modeller hem yapılan parça tasarımlarının son haline getirilmesinde hem de robotun ileriki safhada gerçekleştirilecek sanal montajında kullanılmıştır. Robotun bazı parçalarının katı modelleri Şekil 3 de gösterilmiştir.



Şekil 2. Bağlantı elemanlarının (BE) dizilişi [3]

Tablo 1. Mekanizmanın Hartenberg-Denavit parametreleri [3]

Eklem i	θ_i (derece)	α_i (derece)	a_i (mm)	d_i (mm)
1	0	270	0	428
2	90	0	-800	0
3	0	90	-152	0
3'	0	270	0	428
3''	180	0	200	0
3'''	90	0	400	0
4	0	270	0	800
5	0	90	0	151
6	0	0	0	0

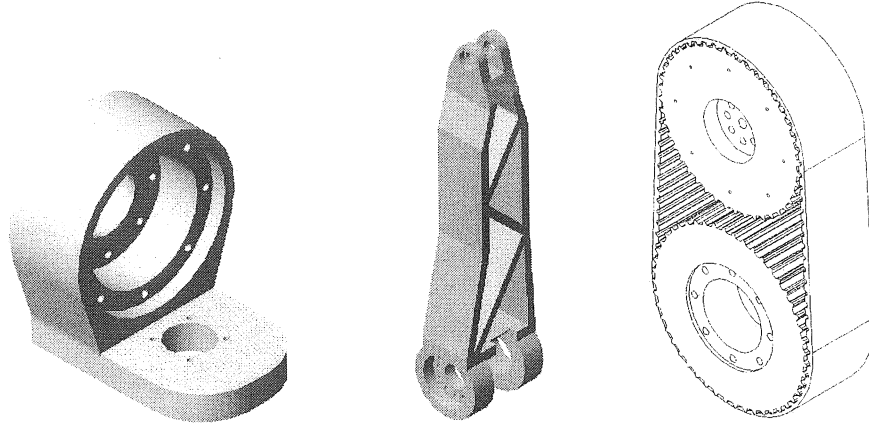
Tablo 2. Amaçlanan eklemler ivme ve hız değerleri

	İvme (rad/s ²)	Hız (rad/s)
1. Eksen	15.7	2.09
2. Eksen	15.7	1.57
3. Eksen	15.7	2.09
4. Eksen	15.7	4.19
5. Eksen	15.7	4.19
6. Eksen	15.7	4.19

Tablo 3. Kullanılan iletim sistemleri

Eksen	Yerleşim	İletim Sistemi
1	Taban	Doğrudan Tahrik*
2	1. Eksen Gövdesi	Dişliler ile İletim
3	1. Eksen Gövdesi	Dişliler ile İletim
4	3. Eksen Gövdesi	Dişli Kayış
5	3. Eksen Gövdesi	Konik Dişli
6	5. Eksen Gövdesi	Doğrudan Tahrik*

* Cyclo dişli kutusu doğrudan tahrik içerisinde ele alınmıştır.



Şekil 3. Bazı Robot parçalarının katı modelleri

Sonlu Elemanlar Analizi (FEA)

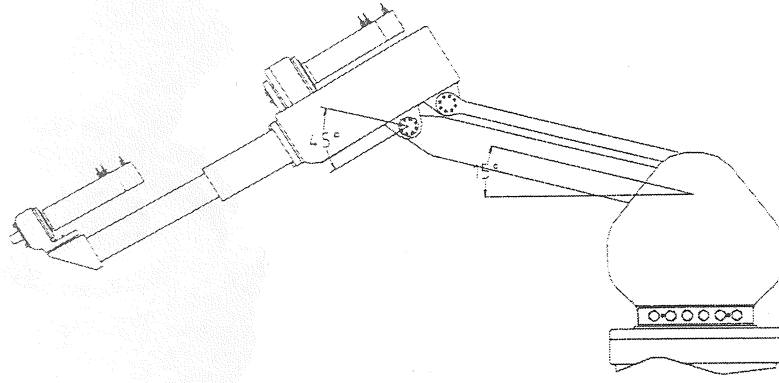
Robotun kinematik ve dinamik analizleri tamamlandıktan sonra, bağlantı elemanlarının mukavemet ve sehimi analizleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan üç boyutlu katı modeller ABAQUS yazılımına aktarıldıktan sonra sonlu elemanlar analizleri yapılmıştır.

Sonlu elemanlar analizi, robotun bağlantı elemanlarının eylemsizlik yük ve momentleri açısından en fazla zorlanmaya maruz kaldığı konumu gözönüne alınarak gerçekleştirilmiştir.

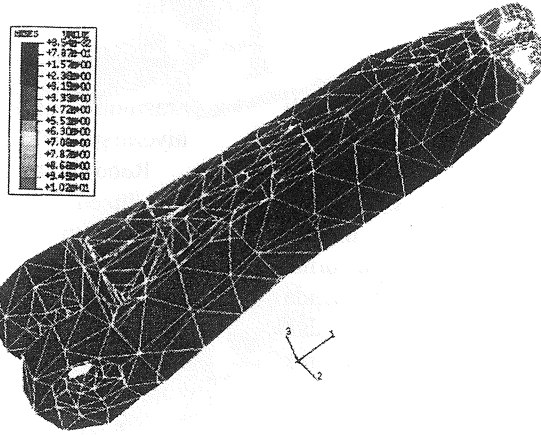
Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bağlantı elemanları için hesaplanan mukavemet değerlerinin, maksimum dinamik yükleme koşullarında bile elemanlarda hasara yol açabilecek sınırların altında olduğu gözlenmiştir. Bu durumda üzerinde durulması gereken konunun robotun uç noktasında oluşacak sehimi olduğu görülmüştür.

Uç noktasında oluşacak sehimin belirlenmesinde robotun alacağı pozisyon büyük önem taşımaktadır. Bu sebepten dolayı, hesaplarda uç nokta için sehimi değerleri toplamının en yüksek olduğu konum gözönüne alınmıştır. Robotun bu konumu Şekil 4 'de gösterilmiştir.

Robotun uç noktasında oluşan sehimi miktarını belirlemek için yapılan sonlu elemanlar analizi sonucunda, uç noktada 0.248 mm lik bir sehimi oluşacağı belirlenmiştir. Bu miktara ikinci bağlantı elemanı 0.11 mm ile en fazla katkıyı yapmaktadır. Bu durumda hedeflenen 0.1 mm lik sehimi miktarına ulaşabilmek için ikinci bağlantı elemanının tasarımı üzerinde çeşitli değişikliklere gidilmiştir. Yapılan her değişiklik sonrasında analizler tekrarlanmış ve bu çalışma sonucunda tasarımda toplam 0.0594 mm lik bir sehimi miktarına ulaşılmıştır. İkinci bağlantı elemanının sonlu elemanlar analizinden bir görüntü Şekil 5 'de gösterilmektedir.



Şekil 4. Robotun sehim analizinde kullanılan konumu



Şekil 5. İkinci bağlantı elemanının sonlu elemanlar analizi

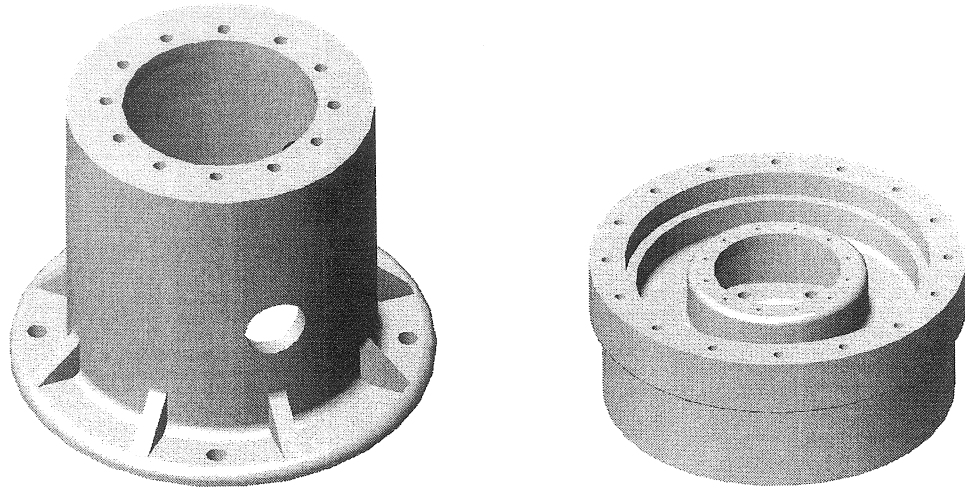
ROBOT İMALATI

Robotun genel tasarımının ardından, parça tasarımları tamamlanmıştır. Bunu takiben her parçanın bilgisayarda üç boyutlu katı modelleri hazırlanmıştır. Bu modellerin kullanılmasıyla, bütün parçaların imalat resimleri çok hızlı bir şekilde oluşturulabilmiştir.

İmalat, üniversite sanayi işbirliğinin iyi bir örneğinin sergilendiği ortak bir çalışma şeklinde gerçekleştirilmiştir. Parçaların bir kısmı ODTÜ Bilgisayar Destekli Tasarım İmalat ve Robotik

Merkezinde (BİLTİR), diğer kısımları da çeşitli sanayi kuruluşlarında imal edilmiştir.

Robotun taban kısımları dökme demir ve oldukça büyük parçalardan oluşmaktadır. Bu parçaların dökümü Türk Traktör Fabrikası yardımı ile yapılmış ve dökümü takiben talaşlı imatları Ankara Şeker Makina Fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Dökme demir parçalara ek olarak, orta ve üst kısımda kullanılan alüminyum parçaların da dökümü Türk Traktör Fabrikası yardımı ile gerçekleştirilmiştir. Taban kısmını oluşturan parçalardan bazılarının resimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Taban parçaları

Orta gövdeyi oluşturan döküm parçaların talaşlı imalatı Ankara OSTİM’de bir firma tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu imalatlarda sayısal kontrollü dikey torna ve freze tezgahları kullanılmıştır.

Hassas imalat gerektiren parçaların imalatı BİLTİR Merkezinde bulunan CNC kontrollü torna, freze ve tel erezyon (WEDM) tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. Bu imalatlarda doğrudan bilgisayarda bulunan parça çizimleri kullanılarak CNC kodları çıkarılmıştır.

MEKANİK MONTAJ

Robotun mekanik montajı iki aşamada yapılmıştır. Birinci aşamada bilgisayar ortamında sanal montaj, sanal montajı tamamlanmasının ardından ikinci aşama olarak fiziksel montaj gerçekleştirilmiştir.

Sanal Montaj

Robotun tüm parçalarının bilgisayar destekli tasarım yazılımı kullanılarak üç boyutlu katı modellerinin oluşturulduğu daha önce belirtilmişti. Bu modeller öncelikle imalat resimlerinin çıkarılması için kullanılmıştır. Robotun gerçek anlamda veya fiziksel montajına geçilmeden önce bu modeller kullanılarak robotun üç boyutlu sanal montajı gerçekleştirilmiştir.

Sanal prototip hazırlama yönteminde oluşturulan parça modelleri içerisinde parçaların geometrik biçim özellikleri ve parçalar ile bağlama elemanları

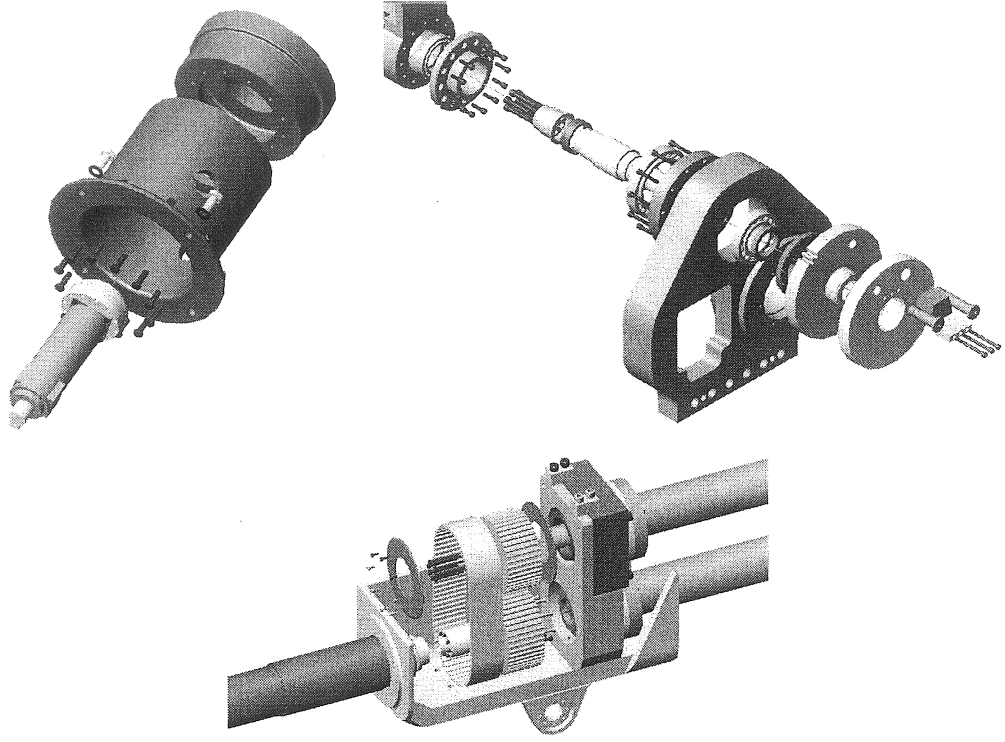
arasındaki eşleşme özelliklerini kapsayan bir montaj hiyerarşisi bulunmaktadır [4].

Robot sanal montajındaki bir montaj dosyası belli bir düzen içerisinde biraraya getirilmiş bağımsız parçalardan oluşmaktadır. Montajın oluşturulması sırasında parçalar birbirleriyle belirli konumlarda biraraya getirilmektedirler. Bu birleştirme işlemi sırasında parçaların serbestlik dereceleri yapı içerisindeki işlevlerine bağlı olarak üç boyutlu konum sınırlamaları kullanılarak azaltılmaktadır [5].

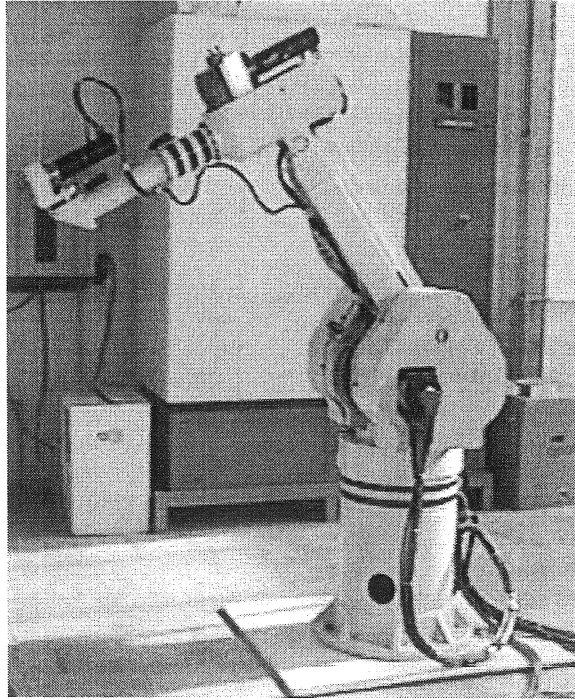
Robotun öncelikle bir sanal montajının oluşturulması, fiziksel montaj esnasında ortaya çıkabilecek montaj problemlerinin en aza indirgenmesini sağlamıştır. Ortaya çıkabilecek problemler de gerçek montaj başlamadan gerekli imalat işlemleriyle düzeltilmiştir. Robotun sanal montajından bazı örnek görüntüler Şekil 7’de verilmiştir. Robotun tamamlanmış olarak gösteren bir fotoğraf da Şekil 8’de verilmiştir.

Fiziksel Montaj

Sanal montajın tamamlanmasının ardından, robotun fiziksel montajına başlanılmıştır. Bilgisayar ortamında yapılan montaj, fiziksel montajın nasıl bir sırayla yapılacağı ve hangi noktalara dikkat edilmesi gerektiği konusunda çok yararlı bilgiler sağlamıştır. Bu bilgilerin ışığında fiziksel montaj safhası oldukça az sorunla karşılaşılarak tamamlanmıştır. Montajın tamamlanmasının ardından robot, korozyonun önlenmesi ve estetik açısından boyama işlemine tabi tutulmuştur.



Şekil 7. Sanal montajdan görüntüler



Şekil 8. Robotun fotoğrafı

Tablo 4. Kullanılan motorların özellikleri

Eksen	Motor Tipi	Motor Gücü (kW)	Hız (d/d)	Motor Torku (Nm)
1	1326AB-B2E-21	2.3	3000	11.5
2	1326AB-B3E-11	3.8	3000	14.3
3	1326AB-A3E-21	1.2	3000	5.4
4	1326AD-K4F-11	0.67	3500	2.37
5	1326AD-K4F-11	0.67	3500	2.37
6	1326AD-K2G-31	0.52	5000	1.24

ELEKTRİKSEL MONTAJ

Elektriksel montaj safhasında robotun üzerinde monte edilmiş halde bulunan motorlar ile bu motorların servo kontrolünü sağlayacak sürücüler, tüm elektrik sistemine güç sağlayacak trafo ve güç kaynakları ve diğer gerekli ekipmanın bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Robot üzerinde kullanılan ve Allen Bradley firması üretimi olan motorların özellikleri Table 4’de sunulmuştur.

Elektriksel montaj safhası aşağıda belirtilen işlemleri kapsamaktadır:

- Uygun bir kontrol panosunun temin edilmesi ve üzerinde gerekli işlemlerin yapılması.
- Trafo, güç kaynakları, servo sürücüler ve diğer gerekli ekipmanın pano içerisine yerleştirilmesi.
- Motorlar ve kontrol panosu arasındaki bağlantıların yapılması.
- Servo sürücüler ile bilgisayar içerisinde bulunan kontrol kartının bağlantılarının yapılması.

Robotun elektriksel montajı, sanayiden bu alanda deneyimli bir şirket ile işbirliği içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu işbirliği, robotun elektrik montajının başlangıcından, deneme çalışmalarının sonuçlandırılmasına kadar devam etmiştir.

Gerekli montaj ve bağlantı işlemlerinin tamamlanmasından sonra, robotun el kumandasıyla çalıştırılabilmesi için uygun bir kumanda aygıtı hazırlanmıştır. Bu aygıt kullanılarak, her eksenin birbirinden bağımsız olarak hız kontrolü yapılabilmektedir. Ancak robotun asıl kullanım yöntemi bilgisayara monte edilmiş olan eksen kontrol kartının aracılığıyla gerçekleştirilecektir.

Sistem içinde kullanılan kontrol kartı, Delta-Tau firması tarafından üretilmiş olan PMAC serisi, aynı anda sekiz eksen kontrol kapasitesine sahip bir

karttır. Robot, hem kart ile birlikte gelen arabirim kullanılarak hem de Visual Basic veya Visual C dillerinden biri aracılığıyla hazırlanmış bir yazılım kullanılarak kontrol edilebilmektedir.

DENEME ÇALIŞMALARI

Robotun elektrik montajının tamamlanmasından ardından deneme çalışmalarına başlanılmıştır. Deneme çalışmaları ilk olarak robotun el kumandası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu aşamada ilk olarak, sistemin verilen bağımsız eksen kontrol komutlarına cevabı incelenmiştir. Görülen bir takım aksaklıklar bu seviyede çözülmüştür. El kumandası kullanılarak altı eksen de eksen limitleri içerisinde çalıştırılmıştır.

Deneme çalışmalarının ilk safhasının tamamlanmasından sonra, robotun bağlantı elemanlarının limit anahtarları kullanılarak sınırlandırılması gerçekleştirilmiştir. Her eksen pozitif ve negatif yönlerde olmak üzere en az iki adet anahtarla sınırlandırılmıştır. Bu sınırlandırma sayesinde robotun kontrol dışı hareketler ile kendisine verebileceği muhtemel zararlar önlenmiştir.

Deneme çalışmalarının son kısmı, bilgisayara bağlı kontrol kartı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol kartının kendi yazılımı ve arabirimi aracılığıyla tüm eksenler çalıştırılmış ve robotun eksen limitleri içerisinde verilen komutlara cevap verdiği görülmüştür.

ROBOT MALİYET ANALİZİ

Yapılan çalışmada robotun tasarımından çalıştırılmasına kadar olan süreç boyunca ortaya çıkan maliyet Amerikan Doları olarak hesaplanmış ve Tablo 5’de sunulmuştur.

Tablo 5. Robot maliyet hesabı

MALİYET UNSURLARI	MALİYET
Tasarım	22.000
İmalat	4.500
Montaj ve Boyama	1.400
Elektrik Donanımı (Motorlar ve aktarma sistemleri, Servo Sürücüler, Kontrol Kartları...vs)	35.900
Elektriksel Montaj	3.900
TOPLAM	67.600

Bu tablo sonucunda ortaya çıkan toplam rakamın 67.600 USD civarında olduğu görülmektedir ki, piyasada satılmakta olan eşdeğer sistemlere göre yaklaşık yarıyarıya bir tasarruf sağlanmaktadır. Ayrıca hesaplanan bu maliyetin seri olarak üretilen bir robota ait olmayıp bir prototip çalışması sonucunda ortaya çıktığı da unutulmamalıdır.

SONUÇ

Altı serbestlik dereceli bir endüstriyel robot prototipi tasarım, imalat ve montajı tamamlanarak uygulamaya hazır hale getirilmiştir. Robotik gibi her aşamasında yüksek teknolojinin kullanıldığı bir alanda, ülkemiz çok sınırlı bir tecrübeye sahiptir. Bu araştırma ve geliştirme projesinde aşağıda ifade edilen alanlarda tecrübe kazanılmıştır:

- Endüstriyel robot tasarım ve imalatı
- Tahrik ve kontrol
- İleri akıllı kontrol çalışmalarının uygulanabileceği bir platformun oluşturulması.

Üretilen endüstriyel robot, görüntü algılama ve işleme, yapay zeka ve bulanık mantık gibi algoritmaların uygulandığı bir platform olarak kullanılabilecektir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar ODTÜ Bilgisayar Destekli Tasarım, İmalat ve Robotik (BİLTİR) Merkezine sağlanan tasarım ve imalat olanakları, Sayın Tolga Ünver'e robotun tasarımında sağladığı katkılar, Türk Traktör Fabrikası Genel Müdürü Sayın Hakkı Akkan'a da bazı parçaların imalatı için sağladıkları olanaklar ve Elmas Makina Şirketine montaj konusunda verdikleri destek ve olanaklar için teşekkür ederler. Ayrıca yazarlar, AFP-08-04 DPT 2001 K 120980 ve AFP-06-02 DPT 98K 0122 880 kod no'lu projeler kapsamında desteklenmiş olan bu proje için DPT'ye teşekkürlerini sunarlar.

DESIGN, PRODUCTION AND OPERATION OF AN INDUSTRIAL ROBOT WITH SIX DEGREES OF FREEDOM

In this study, design, production and initial operation of a six degree of freedom industrial robot prototype are performed. Computer Aided Design (CAD) techniques are intensively used. A virtual assembly of the robot is performed before the physical assembly thus eliminating possible assembly problems. The robot may be used as a platform for advanced intelligent control.

Keywords: Industrial Robot, Robot Production, Robot Assembly

KAYNAKÇA

1. Groover M. P., Weiss M., Nagel N. R., Odrey N. G., *Industrial Robotics*, McGraw Hill, 1986.
2. Mair G. M., *Industrial Robotics*, Prentice Hall, 1988.
3. Ünver Tolga, *The Computer Aided Design of an Industrial Robot*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
4. Siddique Z., Rosen D. W., A Virtual Prototyping Approach to Product Disassembly Reasoning, *Computer Aided Design*, 1997, Vol 29, No 12, pp 847-860.
5. Ethier S. J., Ethier A. C., *Mechanical Desktop 4.0*, Prentice Hall, 2000.
6. Toker Ş. Bülent, *Virtual Modelling, Planning and Production of Parts of an Industrial Robot*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
7. Eren Oykun, *Production, Assembly and Application of an Industrial Robot*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.

Makina Tasarım ve İmalatında Yeni Dönem: Makina Direktifine Uyumluluk ve CE İşareti

Atila Çınar

Makina Mühendisi

Etik Tasarım Eğitim Danışmanlık Ltd. Şti.
Kavacıklı İş Merkezi No: 17/16 Ostim-Ankara

İmalatçıların ürünleri ile ilgili üstlenmek zorunda oldukları sorumluluklar Avrupa Birliği (AB) içerisinde çeşitli mevzuat ile düzenlenmiştir. AB ile gümrük birliği anlaşmasını imzalamış olan ülkemiz, anlaşmaya göre mevzuatını AB'nin uygulamada olan mevzuatı ile uyumlaştırmak durumundadır. Ürünlerle ilişkin teknik mevzuat ile ilgili uyumlaştırma çalışmaları için Türkiye'ye tanınan süre 2002 yılı başında sona erecektir. Bu sürenin dolmasıyla beraber, özellikle direktifler kapsamında yer alan mamullerin hem AB ülkelerine satışında, hem de Türkiye içerisinde pazara sunulmasında belirli koşulların yerine getirilmiş olması ve CE işareti aranacaktır. Mevzuatın uyumlaştırılması için Türkiye tarafından atılan en önemli adım 4703 sayılı yasanın 29 Haziran 2001 tarihinde TBMM'de kabul edilmiş olmasıdır. Bu yasa Resmi Gazete'de yayımlanmasından 6 ay sonra, 11 Ocak 2002'de yürürlüğe girecektir. Bu nedenle yasanın getirdiklerinin, direktiflerin ve CE işaretinin nasıl uygulandığının bilinmesi teknik insanlar ve imalatçılar için büyük öneme sahiptir. Yasanın yürürlüğe girmesiyle makina tasarım ve imalatı yapanları da Makina Direktifi'nin öngördüğü yaptırımları karşılama sorumluluğu beklemektedir.

ÜRÜN SORUMLULUĞUNA İLİŞKİN AVRUPA BİRLİĞİ'NİN ESKİ VE YENİ YAKLAŞIMLARI

Avrupa ülkeleri Avrupa Birliği'nin temellerini attıkları yıllarda, malların kendi aralarında serbest dolaşımını öngördüler. O dönemde, üye ülkelerin her birinin, ürün ya da ürün grupları ile ilgili, uygulanması zorunlu teknik dokümanları (standartları) vardı. Farklı ülkelerde, aynı ürün için geçerli olan standartlar ortak özellikler taşıyor olsalar da, farklı oldukları noktalar da vardı. Bu

farklılıkların, ürünlerin üye ülkeler arasında öngörüldüğü gibi serbestçe dolaşımının önünde bir engel oluşturacağı düşünüldü. AB ülkeleri bu engeli aşmak için, aynı konudaki standartların birleştirilmesi ve birleştirilen bu standartların üye ülkelerde kullanılmasının zorunlu tutulması yaklaşımını benimsediler. 1958-1985 yılları arasında geçerli olan bu yaklaşım *Eski Yaklaşım* olarak bilinmektedir.

Eski Yaklaşım'ın uygulanması sürecinde iki önemli engel ile karşılaşıldı. Bunlardan birincisi, standartları uyumlaştırmak için bir araya gelen üye ülkelerin her birinin kendi standartlarının ortak standartta daha fazla yer bulması isteği oldu. Bu durum ortak standart oluşturma sürecini uzattı. İkinci önemli engel ise teknolojinin hızlı gelişmesinin bir sonucu olarak ortaya çıktı. Kimi zaman uygulaması zorunlu yazılı standartlar teknolojiye gelişmelerin gerisinde kalır oldu. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak ortaya çıkan malzeme, imalat ve test yöntemleri vb. alanlarındaki yenilikler, yürürlükteki standartların zorunlu uygulamada olması nedeniyle kimi zaman uygulanamaz oldular. Bu durumun fikirlerin ürünlere dönüşmesinin ve ürün çeşitliliğinin artmasının önünde bir engel olabileceği görüldü. Bunun üzerine sanayi mamulleri ile ilgili uyulması gereken temel özellikleri belirleyen ortak metinlerin hazırlanması ve bu tür metinlerin hazırlandığı ürün alanlarıyla ilgili standartların zorunlu uygulamadan kaldırılması yaklaşımı benimsendi. Benimsenen bu yaklaşıma *Yeni Yaklaşım*, ortaya çıkacak olan ortak metinlere *direktif* adı verildi. AB Konseyi'nin 7 Mayıs 1985 tarihli kararıyla direktiflerin uyulması zorunlu yasal mevzuat niteliğinde olması karar altına alındı.

DİREKTİF (TEKNİK DÜZENLEME)

Direktifler, Avrupa Birliği içerisinde dolaşan sanayi mamullerinin, sağlık, güvenlik, çevre ve tüketici açısından uygunluğunu teminat altına almak için yürürlüğe konan, yasa niteliğinde mevzuat olarak tanımlanabilir. Direktifler ilgili oldukları mamul grubunda bulunması gereken asgari koşulları tanımlarlar. Direktiflerin tanımladığı asgari koşulları karşılayan imalatçı, mamulüne bu koşulların ötesinde özellikler de katabilir.

Direktiflerin giriş bölümlerinde ilgili ürün kuşkuyla yer kalmayacak biçimde, ayrıntılı olarak tanımlanmaktadır. Söz konusu ürün grubu içerisinde, özel olarak değerlendirilmesi gereken ürünler varsa (riski yüksek olanlar, güvenlikle ilgili olanlar vb.) bunlar ayrıca belirtilmektedir. Tanım olarak direktife uygun olan, ancak taşıdığı özellikler itibari ile başka direktif ya da teknik düzenleme kapsamına alınan mamuller de direktifin bu bölümünde tanımlanmaktadır. Daha sonra direktif kapsamında yer alan mamuller ile ilgili uygunluk değerlendirme çalışmasında izlenecek yol ve yöntemler ile direktife uygunluğun işaretlemesi (CE işareti) anlatılmaktadır.

Direktiflerin eklerinde ise, ağırlıklı olarak, direktif kapsamında yer alan ürünlerin tasarım ve imalatına ilişkin temel sağlık ve güvenlik gereklilikleri ayrıntılı olarak anlatılmaktadır. Bu bölümlerde, direktif kapsamında yer alan ürünlerin tasarımı ve imalatı sırasında göz önünde bulundurulması gereken asgari kriterler yer almaktadır. Ekler bölümünde ayrıca, ürün üzerine CE işareti konmasında izlenecek modüller açıklanmaktadır.

AB Komisyonu tarafından kabul edilerek Birlik Resmi Gazetesi'nde yayımlanmış, yürürlükte olan 20'nin üzerinde direktif vardır. Ancak direktiflerin adet ve içeriklerinin sürekli değişmekte olduğunu unutmamak gerekmektedir. Gelişmekte olan teknolojiye, toplumsal yaşama ve ihtiyaçlara koşut olarak hem direktiflerin sayısı artmakta, hem de içerikleri sürekli yenilenmektedir. Bir direktif kapsamında yer alan mamul grubunun içerdiği teknolojiyle ilgili önemli değişiklikler olduğunda, bu mamul grubu o direktiften çıkarılarak, yeni hazırlanan bir direktifin kapsamına alınabilmektedir. Bu nedenle bu alandaki gelişmelerin teknik insanlar ve imalatçılar tarafından sürekli izlenmesi neredeyse zorunludur.

Yukarda bahsedilen 'sürekli değişme ve yenilenme' gerçeğinin saklı kalması koşuluyla, AB içerisinde yürürlükte olan başlıca direktifler aşağıda verilmektedir:

Direktif No	Direktif Adı
73/23/EEC	Alçak Gerilim Direktifi
87/404/EEC	Basit Basıncılı Kaplar Direktifi
88/378/EEC	Oyuncakların Emniyeti Direktifi
89/106/EEC	İnşaat malzemeleri Direktifi
89/336/EEC	Elektromanyetik Uyumluluk Direktifi
98/37/EC	Makina Emniyeti Direktifi
89/686/EEC	Şahsi Koruma Teçhizatı Direktifi
90/384/EEC	Otomatik Olmayan tartı Cihazları Direktifi
90/385/EEC	Vücuda Yerleştirilen Aktif Tıbbi Cihazlar Direktifi
90/396/EEC	Gaz Yakan Aletler Direktifi
92/42/EEC	Sıvı ve Gaz Yakıt Kullanılan Sıcak Su Kazanları
93/15/EEC	Sivil Amaçlı Patlayıcı Maddeler Direktifi
93/42/EEC	Tıbbi Malzemeler Direktifi
94/9/EC	Patlayıcı Ortamlarda Kullanılan Ekipman Direktifi
94/25/EC	Gezi Tekneleri Direktifi
95/16/EC	Asansörler Direktifi
96/57/EC	Soğutma Cihazları Direktifi
97/23/EC	Basıncılı Ekipmanlar Direktifi
98/13/EC	Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Direktifi
98/79/EC	Tıbbi Teşhis Cihazları Direktifi
99/5/EC	Radio ve Telekomünikasyon Terminal Ekipmanları Direktifi
94/62/EC	Paketleme ve Paketleme Atıkları Direktifi
00/9/EC	Kablo Yollu İnsan Taşıma Araçları

Bu listede yer alan direktiflerin sanayi mamullerinin yaklaşık %75-80'ini kapsamakta olduğu söylenebilir. AB ülkeleri bir yandan yeni direktiflerle direktif kapsamında olmayan mamulleri de kontrol altına almaya çalışırken, bir yandan da mevcut direktifleri sürekli yenilemektedirler. Direktiflerin yasa niteliğinde mevzuat olmalarının yanında, AB ülkeleri tarafından gerektiğinde birer tarife dışı engel olarak da kullanılmakta olduğu ya da kullanılacağı unutulmamalıdır. Bu bağlamda, direktifler ile ilgili şu görüşlerin de göz ardı edilmemesinde yarar vardır:

Başlangıçta, direktifler mamullerin insana, diğer canlılara ve çevreye zarar vermesini engellemek amacıyla uygulamaya konmuştur. Ancak zaman içinde, direktifler kalitesi ve fiyatı düşük mamullerin Avrupa birliği ülkelerine girişini engellemek amacıyla da kullanılmaya başlamıştır. Giderek de, Avrupa Birliği ülkeleri kendi sanayi kuruluşlarını haksız dış rekabetten korumak için daha fazla konuda direktifler hazırlama çalışmalarına hız vermişlerdir.

DİREKTİFE UYGUNLUĞUN İŞARETİ: CE

CE işareti, mamulün yalnızca hukuki olarak Avrupa güvenlik ve sağlık kurallarına göre uygun olduğunu gösteren bir işarettir ve mamulün kalitesiyle ilgili bir anlam ifade etmez.

Herhangi bir mamul bir veya daha fazla direktifin kapsamında yer alıyorsa, direktife uygun tasarlanıp üretilmek zorundadır. Bunun için uygun tasarım ve imalatın yanında, hazırlanması gereken bazı dokümanlar (teknik dosya, uygunluk beyanı) uygulanması gereken bir prosedür vardır. CE işareti bu zorunlulukların yerine getirilmiş olduğunu gösterir.

Özellikle insana, diğer canlılara ve çevreye zarar verme potansiyeli yüksek olan mamullerin üzerine CE işareti koymanın prosedürleri karmaşık olabilmekte ve bazı ön sorumlulukların yerine getirilmesini gerektirmektedir. Ancak yöntem ne kadar karmaşık ve prosedür ne denli uzun olursa olsun, bunun ilgili direktifte açık olarak anlatılmış olması tasarımcının ve imalatçının işini kolaylaştıran bir unsurdur.

Mamullerin ilgili direktife uygunluğunun belgelenmesi, yani üzerine CE işareti konması iki ayrı yoldan geçilerek yapılabilmektedir:

Bu yollardan birincisinde, imalatçının direktifte öngörülen koşullara uyulmuş olduğunu kendisinin beyan etmesidir. İkinci yol ise, direktif koşullarına uygunluğun bağımsız, tarafsız ve uzman bir kuruluşun da (Onaylanmış Kuruluş - Notified Body) yer aldığı bir süreçten geçilerek beyan edilmesidir. Hangi ürün grupları için hangi yolun izleneceği ilgili direktifte anlatılmaktadır.

CE İŞARETİ UYGULAMASINDA İMALATÇIYA DÜŞEN

İmalatçıların, mamullerinin direktif(ler)e uygunluğunun sağlanması ve uygunluğun beyan edilerek mamulün üzerine CE işaretinin konması sürecinde atmaları gereken bazı öncelikli adımlar vardır. Bu adımların iyi izlenmesi ve en azından CE işaretinin kolaylıkla konabileceği mamullerle ilgili çalışmaların öncelikle tamamlanması konuyla ilgili uzmanlar tarafından önerilmektedir. Atılacak adımlara gelince:

- İmalatçı öncelikle mamulü ile ilgili direktif ya da direktifleri edinmelidir. Herhangi bir mamul birden fazla direktif ile ilgili olabilmektedir. Örneğin makinaların birçoğu makina direktifi ile birlikte, alçak gerilim direktifi ile elektromanyetik uyumluluk direktifinin kapsamına girebilmektedir.

- İmalatçı mamulü ile ilgili varsa AB uyumlaştırılmış standartlarını, AB standartlarını,

ulusal standartları, bunların hiç biri yoksa sektörde bilinen 'iyi uygulama kodlarını' edinmelidir. Bir mamul ile ilgili direktif var ise, ilgili standartlara uymanın zorunlu olmadığı daha önce belirtilmişti. Ancak bu durum standartların önemini azalttığı anlamına gelmemelidir. Çünkü mamulün tasarım ve üretimi sırasında, başta AB uyumlaştırılmış standartları olmak üzere, diğer standartların uygulanmış olması, direktife uygunluğun sağlanması için gösterilen çabanın kanıtı olarak görülmektedir. CE işaretli ürün ile ilgili, kullanım sırasında bir sorun çıktığında, tasarım ve imalat sırasında standartlara uyulmuş olduğunun gösterilmesi, imalatçıyı bazı sorumluluklardan kurtarabilir.

-İmalatçı mamulünün direktif ve standartlara uyan ve uymayan yönlerini belirlemeli, kendisinin giderebildiği uygunsuzlukları gidermelidir.

-İmalatçı direktif ve standartlarda belirtilen test ve muayeneleri yetkili kuruluşlara yaptırmalıdır.

-Bir eksikliğin kalmadığından emin olan imalatçı, direktife göre, bir onaylanmış kuruluşa başvurmadan CE işaretini koyabiliyorsa, uygunluk beyanını hazırlamalı, bunun bir kopyasını mamul ile birlikte satış sırasında vermeli ve mamulün üzerine CE işaretini koymalıdır.

-Direktife göre, mamulün uygunluğunun belirlenmesi için bir onaylanmış kuruluşa gidilmesi gerekiyorsa, yukarıdaki işlemler yapıldıktan sonra onaylanmış kuruluşa baş vurulmalıdır.

4703 SAYILI YASA VE ÜLKEMİZDE DURUM

1996 yılında imzalanmış olan Gümrük Birliği Sözleşmesi uyarınca, Türkiye birçok alanda uygulamadaki mevzuatını AB mevzuatı ile uyumlaştırmak zorundadır. Sanayi mamullerinin tasarım ve üretiminde uyulması gereken koşullarla ilgili mevzuat da bu kapsamda yer almaktadır. Burada öngörülen koşulun yerine getirilmesi amacıyla hazırlanan 'ürünlere ilişkin teknik mevzuatın hazırlanması ve uygulanmasına dair kanun' Haziran 2001'de TBMM'de kabul edilmiş ve 4703 sayılı yasa olarak Resmi Gazete'de yayımlanmıştır. Yasa 11 Ocak 2002 tarihinde yürürlüğe girecektir. Yasanın amacı; 'ürünlerin piyasaya arzı, uygunluk değerlendirmesi, piyasa gözetimi ve denetimi ile bunlarla ilgili olarak yapılacak bildirimlere ilişkin usul ve esasları belirlemek' olarak konmuştur.

4703 No'lu yasada yer alan bazı önemli tanımlara ise aşağıda yer verilmiştir [2]:

Teknik Düzenleme: Bir ürünün, ilgili idari hükümler de dahil olmak üzere, özellikleri, işleme ve üretim yöntemleri, bunlarla ilgili terminoloji,

sembol, ambalajlama, işaretleme, etiketleme ve uygunluk değerlendirmesi işlemleri hususlarından biri veya bir kaçını belirten ve uyulması zorunlu olan her türlü düzenleme.

Onaylanmış Kuruluş: Test, muayene ve/veya belgelendirme kuruluşları arasından, bir veya birden fazla teknik düzenleme çerçevesinde uygunluk değerlendirme faaliyetinde bulunmak üzere, yetkili kuruluş tarafından belirlenerek, bu kanunda ve ilgili teknik düzenlemede belirtilen esaslar çerçevesinde yetkilendirilen özel veya kamu kuruluşu.

Uygunluk İşareti: Bir ürünün, ilgili teknik düzenlemede yer alan gereklere uygun olduğunu ve ilgili tüm uygunluk değerlendirmesi işlemlerine tabi tutulduğunu gösteren işaret.

4703 no'lu yasanın uygulamaya ilişkin 5. maddesinin önemli bazı hükümleri ise aşağıdadır:

Piyasaya arz edilecek yeni ürünlerin ilgili teknik düzenlemeye uygun olması zorunludur. Bu hüküm, kullanılmış olmakla birlikte değişiklik yapılarak piyasaya tekrar arz edilmesi hedeflenen ürünler ile Avrupa Birliği üyesi ülkeler dışındaki ülkelerden ithal edilen eski ve kullanılmış ürünlere de uygulanır.

Üretici, piyasaya sadece güvenli ürünleri arz etmek zorundadır. Teknik düzenlemelere uygun ürünlerin güvenli olduğu kabul edilir. Teknik düzenlemenin bulunmadığı hallerde, ürünün güvenli olup olmadığı; ulusal veya uluslararası standartlara; bunların olmaması halinde ise söz konusu sektördeki iyi uygulama kodu veya bilim ve teknoloji düzeyi veya tüketicinin güvenliğe ilişkin makul beklentisi dikkate alınarak değerlendirilir.

Üretici, güvenli olmadığı tespit edilen ürünün kendisi tarafından piyasaya arz edilmediğini veya ürünün güvenli olmaması halinin ilgili teknik düzenlemeye uygunluktan kaynaklandığını ispatladığı takdirde sorumluluktan kurtulur.

Üreticinin tespit edilemediği durumlarda, yetkili kuruluşça belirlenecek süre içinde üreticinin veya malı tedarik ettiği kişinin kimliğini bildirmeyen dağıtıcı, üretici olarak kabul edilir.

Yasada ürünün piyasa arzının yasaklanması, toplatılması ve bertarafına ilişkin 11. maddede yer alan önemli bazı hükümler ise aşağıda verilmektedir:

İlgili teknik düzenlemeye uygunluğu belgelenmiş olsa dahi, bir ürünün güvenli olmadığına dair kesin belirtilerin bulunması halinde, bu ürünün piyasaya arzı, kontrol yapılmıyaya kadar yetkili kuruluşça geçici olarak durdurulur.

Kontrol sonucunda ürünün güvenli olmadığına tespit edilmesi halinde, masrafları üretici tarafından karşılanmak üzere, yetkili kuruluş;

A) ürünün piyasaya arzının yasaklanmasını,

B) piyasaya arz edilmiş olan ürünlerin piyasadan toplanmasını,

C) ürünlerin, güvenli hale getirilmesinin imkansız olduğu durumlarda, taşıdıkları risklere göre kısmen ya da tamamen bertaraf edilmesini,

D) (a), (b) ve (c) bentlerinde belirtilen önlemler hakkında gerekli bilgilerin, masrafları üreticiden karşılanmak üzere, ülke genelinde dağıtımı yapılan iki gazete ile ülke genelinde yayın yapan iki televizyon kanalında ilanı suretiyle, risk altındaki kişilere duyurulmasını, sağlar.

SONUÇ

Özellikle 4703 sayılı yasanın yürürlüğe girmesiyle, ürünlerin tasarlanması, imal edilmesi, testlerinin yapılması ve pazara sunulmasına ilişkin yeni bir düzenleme gündeme gelecektir. Bu düzenlemenin mevcut uygulamanın aksayan yanlarını gidermesi öngörülmektedir. Öte yandan yasanın yürürlüğe girmesiyle, sanayi mamullerinin büyük bir kısmının CE işareti taşıması zorunlu olacaktır. Bu zorunluluğun gereklerini yerine getirebilen imalatçılar için yaşamın daha kolay olacağı açıktır. Ancak yasanın ve yasada sözü edilen teknik düzenlemelerin gerekliliklerini karşıla(ya)mayan imalatçılar için iki yol görülmektedir. Bu imalatçılar ya yok olup gidecekler, ya da oldukça düşük fiyatların karşılığında mal satan, rekabet gücünden yoksun yan sanayici olacaklar.

Kuşkusuz, ülkemizde yer alan hiçbir imalatçının ikinci kategoride yer alması arzu edilmez. İmalatçılarımızın bu duruma düşmelerinin önüne geçilebilmesi için somut önerilerimizi sıralayacak olursak:

- Önemizdeki dönemde mamuller ile ilgili yeni bir sistemin yürürlükte olacağı kaçınılmazdır. Bu sistemin öznesinin mühendisler olması zorunludur.
- CE işareti uygulaması endüstrinin hemen her alanında mühendisin devrede olmasını gerektiriyor. Bu nedenle üniversitelerin, detayları iyi bilen, uygulamaya dönük mühendisler yetiştirmeleri gerekiyor.
- Mühendislerin teknik bilgi ve deneyimle donatılmış olmalarının yanında, yatırımcıyı (imalatçıyı) bilgilendirme (eğitme) yeteneklerinin de olması gerekiyor.
- Mühendislerin yalnızca tasarım ve imalatı iyi bilmeleri yetmiyor, yürürlükteki mevzuatı da yakından izlemeleri ve bu alandaki bilgilerini

- sürekli güncellemeleri gerekiyor. Çünkü direktifler teknolojik yenilikler tarafından sürekli değişmeye ve yenilenmeye zorlanıyor.
- Sistemin işleyebilmesi için, yalnızca iyi yetişmiş, bilgili ve deneyimli mühendislerin olması yetmiyor. Aynı zamanda bu mühendislerin yetkinliklerinin de güvenilir kaynaklar tarafından doğrulanması ve belgelenmesi gerekiyor. Bu konuda Türkiye Akreditasyon Kurumu'na (TÜRKAK) önemli görevler düşüyor.
 - Özellikle mamuller ile ilgili zorunlu testlerin yapılabileceği laboratuvarların altyapı ve akreditasyon çalışmalarının hızla tamamlamaları gerekiyor. Üniversitelerin, kamunun, odaların ve özel kurumların elinde bulunan test cihazlarının hiç de azımsanmayacak miktarlarda olduğu düşünülmektedir. Yurtdışına önemli tutarlarda kaynak transferi ile temin edilmiş bu cihazların

bir an önce uygun bedeller karşılığında, imalatçıların faydasına sunulması gerekiyor.

- Başta üniversiteler olmak üzere uzmanların desteği sağlanarak, ülkemizde test cihazlarının üretimi çalışmalarının başlatılması gerekiyor.
- Ulusal kurumlar hızlı davranmaz ise, bu alandaki boşluğun yabancı danışmanlık kuruluşlarınca doldurulacağı çok açıktır. Bu da ülkedeki teknik insanların yalnızca verilen ödevleri yapmaya çalışan kişilere dönüşmesinin yolunu açacaktır.

KAYNAKÇA

1. Arslan B. Sanır, *Direktifler Uyumlaştırılmış Standartlar ve AB'de Uygulanan Mevzuat*, Makina İmalatçıları Birliği yayını, Ocak 1999
2. *Ürünlere ilişkin teknik mevzuatın hazırlanması ve uygulanmasına dair kanun*, TC Resmi Gazete'de yayımlanış tarihi: 11.07.2001

Engineering Tribology

Gwidon W. Stachowiak, Andrew W. Batchelor
Butterworth-Heinemann ISBN 0-7506-7304-4

Prof. Dr. Metin AKKÖK
Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
Ankara 06531

Son yıllarda triboloji konularında araştırmacılara ve uygulamada mühendislere yönelik olarak bir çok kitap yayımlanmıştır. Bu kitapların bir çoğu çok özel konulara değinmekte veya sözel anlatıma dayanmaktadır. Her kitabın yazar(lar)ının ilgi alanına göre kuvvetli tarafları ve zayıf tarafları vardır. Triboloji konusu disiplinlerarası bir konu olarak temel bilimlerdeki araştırmalara dayalı olduğundan sürtünme ve aşınma modelleri yeterince anlaşılamamaktadır.

Yazarlar bu kitabın ikinci baskısını Ekim 2000'de 16 Bölüm ve 750 sayfa olarak hazırlamıştır. İlk bölüm triboloji konusunun tanımı, kapsadığı konular ve uygulamadaki önemi üzerine genel bir bilgilendirme bölümüdür. Sanayide değişik uygulamalar için kullanılan yağlayıcıların cinsleri, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tanıtıldığı mineral ve sentetik yağlar, emülsiyonlar ve gresler ile yağlarda kullanılan katkı maddeleri yaklaşık 110 kaynaktan yararlanılarak ikinci ve üçüncü bölümlerde verilmiştir. Ayrıca yağ seçiminde dikkate alınması gerekli olan oksitlenmeye, aşınmaya ve korozyona karşı direnç ile yüksek sıcaklıklarda yeterli incelikte film oluşumunun sağlanması için viskozitenin korunması gibi kriterlere de yer ayrılmıştır.

Tribolojinin önemli konularından birisi olan hidrodinamik teorisi konusundaki uygulamalar dört bölümde toplanmıştır. Hidrodinamik yağlama teorisinin klasik uygulamaları, kayma yönünde daralan-genişleyen film geometrisi ile oluşan kavitasyon bölgesindeki geleneksel sınır şartları dördüncü bölümde işlenmiştir. Sıkıştırılabilir akışkanlar için Reynolds denklemi uygulaması, türbülanslı rejiminde çalışan yataklar, sıkıştırılmalı

yağ film uygulamalı yataklar, gözenekli malzemeden yapılmış yataklar gibi hidrodinamik yağlama teorisinin özel uygulamalarına da çok kısa olarak değinilmiştir. Bu bölümün hazırlanmasında 67 kaynaktan yararlanılmıştır.

Beşinci bölümde Reynolds denkleminin genelleştirilmiş çözümünün elde edilmesi amacıyla boyutsuz hali verilmiş ve sayısal çözümünde denklemin karakteri gereği kullanılan sonlu farklar sayısal çözüm yöntemlerinin uygulaması gösterilmiştir. Termohidrodinamik yağlama örnek bir uygulama üzerinde incelenmiştir. Yatak lokmalarındaki elastik deformasyonun yük kapasitesi ve film kalınlığı üzerindeki etkilerinin incelenmesi için çözüm algoritması sonuçları ile birlikte verilmiştir. Radyal yüklü kaymalı yataklarda daralan-genişleyen yağ filmi nedeniyle oluşan kavitasyon bölgesi girişinde yağ filminin parçalanması ve kavitasyon bölgesi sonunda yağ filminin yeniden oluşması için kavitasyon sınır koşulları, radyal kaymalı yatak için direngenlik ve sönümleme katsayılarının tanımları ve yatağın kararsızlık sınırının belirlenmesi kısa bir bölümde verilmiştir.

Altıncı bölümde hidrostatik yağlama konusundaki klasik yatak uygulamaları ile aerostatik yatak uygulamaları kısa olarak verilmiştir. Bu bölümlerde yatak yüzeyindeki basınç dağılımı, yağlayıcı debisi, yük taşıma kapasitesi, sürtünme katsayısı veya kuvveti ve güç kaybı hesaplamaları ile ilgili formüllerin çıkartılması gösterilmiştir. Yedinci bölümde hidrodinamik yağlamanın gerçekleştiği yüzeylerde aşırı yük nedeniyle oluşan elastik deformasyon ve yağ viskozitesinin basınç ile değişiminin hesaplamaya alındığı

elastohidrodinamik yağlama konuları içerilmiştir. Kuru yüzeylerde nokta, çizgi ve eliptik temaslar için gerilme ve deformasyon ilişkileri ile yağlanmış yüzeylerde oluşan elastohidrodinamik yağlama durumunun için film kalınlığı formülleri verilmiştir. Bu bölümde kayma sürtünmesi sırasında bir anlık "Flash" sıcaklık oluşumu ve temas alanı içinde kayma yönünde oluşan sıcaklık dağılımı verilmiştir.

Sınır yağlama uygulamaları konusu iki bölümde toplanmıştır. Aşırı yük altındaki yüzeylerde sıcaklığın ve yükün yağ moleküllerinin yüzeyde absorbe edilmesine etkisi ile kritik sıcaklığın yağlama ve sürtünme mekanizmalarına etkileri örneklerle Sekizinci bölümde verilmiştir. Dokuzuncu bölümde katı yağlayıcıların yağlama mekanizmaları, kayma sırasında yüzeyde oluşan katı birikimlerin, yüzeylerin aşınma özelliklerini geliştirmedeki kaplamanın önemi üzerinde durulmuştur. Onuncu bölümde çok kısa olarak yüzey pürüzlülüğünü tanımlayan parametreler ve pürüzlü yüzeylerde temas modelleri kısa olarak verilmiştir.

Aşınma konusuna son altı bölüm ayrılmıştır. Abrasyon aşınmada malzemelerin sertliğinin, erozyon aşınmada çarpma açısının, kavitasyon ile oluşan aşınmada ise basıncın etkileri Onbirinci bölümde, adhezyon ve adhezyon aşınma Onikinci bölümde, kimyasal reaksiyon ile oluşan korozyon ve oksitlenme ile aşınma ve adhezyon aşınma mekanizması Onüçüncü bölümde, malzeme yorulmasının neden olduğu aşınma mekanizması Ondördüncü bölümde verilmiştir. Bu mekanizmaların açıklanmasında 76 kaynaktan yararlanılmıştır. Onbeşinci bölümde çok özel uygulamalarda karşılaşılan aşınma mekanizmalarını içeren aşınma tipleri 80 kaynaktan yararlanılarak hazırlanmıştır.

Teknolojik gelişmeler ve çevre bilincinin gelişmesi sonucunda yataklar ve aşınma direnci konularında yeni koşulları geleneksel olarak kullanılan metal malzemelerin sağlayamaması nedenleriyle metal olmayan malzemeler önem kazanmıştır. Onaltıncı bölümde uygulamada çok kullanılan polimer, kompozit polimer, kauçuk, seramik gibi metal olmayan malzemeler için aşınma ve sürtünme mekanizmaları ile yüzey pürüzlülüğü, kayma hızı ve sürtünme sıcaklığının etkileri üzerine

deneysel sonuçlar verilmiştir. Polimerler genel olarak sürtünme katsayısının ve aşınma oranının az olmasına karşın düşük çalışma sıcaklıkları nedeniyle düşük hız ve yüklerde kullanılabilir. Yüksek sıcaklıklarda, düşük aşınma oranı ile çalışabilen seramikler kullanılabilmesine rağmen sürtünme katsayısı yüksek olabilmektedir.

Bu kitapta bölümler dışında ek olarak radyal kaymalı yataklar ve pabuç yatak yüzeyleri için basınç dağılımının, termohidrodinamik analiz ve elastik deformasyon analizinin yapıldığı Matlab 5.2 programı ile hazırlanmış 7 örnek program verilmiştir.

Mühendislikte triboloji konusu kayma nedeniyle oluşan olayların mikro düzeyde incelenmesini gerektirmektedir. Bu nedenle çok özel cihazlar, ölçüm ve gözleme sistemlerine gerek duyulmaktadır. Tribolojik olaylardaki mekanizmaların anlaşılması ancak hazırlanacak fiziksel modelin ve bu modelin tanımlanmasındaki parametrelerin büyüklüklerinin iyi anlaşılması ile olabilmektedir. Ancak bundan sonra analiz için gerekli varsayımların yapılması ve temel denge denklemleri ile problemin formülasyonuna gidilebilmektedir. Bu nedenlerle fiziksel modelin mikro düzeydeki olaylar için önemi büyüktür. Bu kitabın en kuvvetli tarafı bu noktanın önemi üzerinde dikkat çekici biçimde durulması ve kapsadığı konuların tümü ile anlaşılabilir ve mükemmel şekillerdeki çizimler ile verilmesidir. Kavramlar ve teori son derece açık, kolaylıkla anlaşılabilir ve basitleştirilmiş modelle gösterimi içeren yaklaşık 200 adet grafik ve 100 adet gölgelendirilmiş şekil ile desteklenmiştir. Triboloji konusunda 1000'den fazla kaynaktan yararlanılarak hazırlanan bu kitap yardımı ile okuyucunun ilgilendiği özel konulardaki kaynaklara gidebilmesine de olanak sağlanmıştır.

Özet olarak, araştırmacılar, mühendisler ve mühendislik öğrencileri için tribolojik olayları fiziksel model üzerinde kavramsal olarak açıklayan bir kitap. Bu nedenle triboloji konusunda çalışan ve bu prensipleri uygulayanların başvurabilecekleri değerli bir kitap olarak kuvvetle tavsiye ederim.

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

KONGRE ADI

TARİHİ

YAZIŞMA ADRESİ

2002 IEEE 15th International
Conference on Micro Electro
Mechanical Systems (MEMS)

20 - 25 Ocak, 2002
MGM Grand Hotel
Las Vegas, NV

Ms. Katherine K. Cline
Preferred Meeting Mgmt., Inc. 2320 6th Avenue
San Diego, CA 92101 1643
(+1 619 232 9499
+1 619 232 0799 (Fax)
kkcline@pmmiconferences.com
<http://mems.caltech.edu/mems2002.html>

The 10th International Conference
on Computer Graphics,
Visualization and Computer
Vision '2002

4 - 8 Şubat, 2002
Pizen, Prague, Czech Republic

Prof. Vaclav Skala
Organizer and Conference Secretariat
c/o Computer Science Department
University of West Bohemia
Univerzitni 8, Box 314, 306 14 Pizen
Czech Republic
E-mail: skala@kiv.zcu.cz
Subject: INFO WSCG2002
<http://wscg.zcu.cz>

2002 Information Decision and
Control

11 - 13 Şubat, 2002
Festival Centre
Adelaide, South Australia

Fax: +420-(19)-78 22 578, 799
Tel/Fax: +420-(19)-74 91-188
Dr. Michael Evans
WSD. P.O. Box 1500
Salisbury 5108, SOUTH AUSTRALIA
(+61 8 8259 6916, +61 8 8259 5616 (Fax)
michael.evans@ieee.org
<http://idc.cssip.edu.au/>

First International Conference on
High Performance Structures and
Composites 2002

11 - 13 Mart, 2002
Seville, Spain

Susan Hanley, Conference Secretariat
HPSC 2002, Wessex
Institute of Technology, Ashurst
Lodge, Ashurst, Southampton SO40 7AA, UK
Tel: +44(0) 238 029 3223
Fax: +44(0) 238 029 2853
E-mail: shanley@wessex.ac.uk

2002 IEEE Virtual Reality -
Immersive Projection
Technology

24 - 25 Mart, 2002
Orlando Marriott Hotel
Orlando, FL

Internet: www.wessex.ac.uk
Mr. Michael R. Macedonia
US Army STRICOM
12350 Research Pkwy. Orlando, FL 32826 3276
(+1 407 384 3502, +1 407 384 3510 (Fax)
Michael_Macedonia@stricom.army.mil

1st International Conference on
Heat Transfer, Fluid Dynamics
and Thermodynamics

8 - 10 Nisan, 2002
Kruger National Park, South Africa

<http://www.vr2002.org/>
Professor J.P. Meyer
Department of Mechanical Engineering,
Rand Afrikaans University, PO Box 524
Auckland Park, 2006 Johannesburg
South Africa
Tel: +27 11 489 2607; Fax: +27 11 489 2532
E-mail: hefat@walthers.co.za

İCONE 10
Tenth International Conference
on Nuclear Engineering

14 - 18 Nisan, 2002
Virginia, USA

website: www.walthers.co.za/conference/hefat
John Bendo
ASME Engineering Programs Department
Three Park Avenue, New York, NY 10016, USA
Tel: 212-591-7055, Fax: 212-591-7671
E-mail: bendoj@asme.org

KONGRE ADI**TARİHİ****YAZIŞMA ADRESİ**

2002 Intl.Conf. on Modeling & Simulation of Microsystems, Semiconductor, Sensors, and Actuators Joint with Intl.Conf on Computational Nano

22 - 25 Nisan, 2002
San Juan Marriott
San Juan, PR

Ms. Sarah Wenning
696 San Ramon Valley Blvd., Suite 423
Danville, CA 94526
(+1 925 743 9466,
+1 509 696 6416 (Fax)
wenning@cr.org
<http://www.cr.org/>
Symposium General Secretariat
Huazhong University of Science and Technology
School of Mechanical Science and Engineering
EAST 8 Building, Luoyu Road 1037,
Wuhan, Hubei 430074, P.R. China
Fraunhofer-Institut
für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz, Germany
Ms. Holly Shores
Phone: +49 (0)3 71/53 97-3 28
Fax: +49 (0)3 71/53 97-4 48
E-mail: shores@iwu.fraunhofer.de
Web site: www.iwu.fraunhofer.de
Prof. Irena Goryacheva
Institute for Problems in Mechanics,
Russian Academy of Sciences,
Prospekt Vernadskogo 101, Bldg 1, 117526
Moscow, Russia
E-mail: goryache@ipmnet.ru
Prof. William R. Hamel
MAES Department, Univ. of Tennessee
207 Dougherty Hall,
Knoxville, TN 37966
(+1 423 974 6588, ,
+1 423 974 5274 (Fax)
whamel@utk.edu
<http://www.icra2002.org/>
Dr. David B. Fogel
Natural Selection, Inc.
3333 N. Torrey Pines Ct., Suite 200
LaJolla, CA 92037
(+1 619 455 6449,
+1 619 455 1560 (Fax)
d.fogel@ieee.org
Professor Jongwon Kim
Seoul National University
School of Mechanical and Aerospace Engineering
San 56-1 Shilim-dong, Kwanak-ku, Seoul 151-742,
Korea
Tel: +82-2-880-7138, Fax: +82-2-883-1513
E-mail: jongkim@snu.ac.kr
<http://www.cirp-isms2002.org>
CMS Management Services
3109 Westchester Ave.
College Station,
TX 77845 7919
(+1 979 693 6000, +1 979 693 6600 (Fax)
icassp2002web@securecms.com
<http://www.icassp2002.com/>

Fourth International Symposium
on Tools and Methods of
Competitive Engineering

22 - 26 Nisan, 2002
Wuhan, People's Republic of China

2002 Parallel Kinematic machines
International Conference

23 - 25 Nisan, 2002
Chemnitz, Germany

Contact Mechanics of Coated
Bodies

May 2002
Moscow, Russia

2002 IEEE International
Conference on Robotics and
Automation

11 - 15 Mayıs, 2002
The Crystal Gateway Marriott
Washington, DC

2002 IEEE 11th International
Fuzzy Systems Conference

12 - 17 Mayıs, 2002
Hilton Hawaiian Village Hotel
Honolulu, HI

The 35th CIRP
International Seminar on
Manufacturing Systems
Manufacturing technology in the
Information Age

13 - 15 Mayıs, 2002
Seoul, Korea

ICASSP 2002 - 2002 IEEE
International Conference on
Acoustics, Speech and Signal
Processing

13 - 17 Mayıs, 2002
Renaissance Resort Hotel
Orlando, FL

KONGRE ADI

TARİHİ

YAZIŞMA ADRESİ

4th International Conference on
Integrated Design and
Manufacturing in Mechanical
Engineering

14 - 16 Mayıs, 2002
Clermont-Ferrand, France

Seventh International Conference
on Structures under Shock and
Impact

27 - 29 Mayıs, 2002
Montreal, Canada

FATIGUE'2002
Eighth International Fatigue
Congress

2 - 7 Haziran, 2002
Stockholm, Sweden

PM²TEC2002
2002 World Congress on Powder
Metallurgy & Particulate
Materials

16 - 21 Haziran, 2002
Orlando, Florida, USA

24th World Conference on the
Boundary Element Method and
Meshless Solutions Seminar

17 - 19 Haziran, 2002
Sintra, Portugal

Simulation of Friction and Wear
in Metal Forming

18 - 20 Haziran, 2002
Valenciennes, France

6th International Conference on
Advanced Manufacturing Systems
and Technology

20 - 21 Haziran, 2002
University of Udine, Italy

USNTCAM14 - 14th U.S.
National Congress of Theoretical
and Applied Mechanics

23 - 28 Haziran, 2002
Blacksburg, VA, U.S.A.

IJPGC
International Joint Power
Generation Conference

24 - 26 Haziran, 2002
Arizona, USA

Anne Marie ADEVAH-POEUF
IDMME 2002
INSTITUT FRANÇAIS DE MECANIQUE
AVANCEE, BP 265, Campus de Clermont-Ferrand/
Les Cezeaux, 63175 Aubiere, France
Phone: +33 (0)4 73 28 80 77
Fax: +33 (0)4 73 28 81 00
e-mail: IDMME2002@ifma.fr
<http://www.ifma.fr/IDMME2002/index.htm>
Gabiella Cossutta, Conference Secretariat
SUSI 2002, Wessex Institute of Technology
Ashurst Lodge, Ashurst, Southampton
SO40 7AA, UK
Tel: +44(0) 238 029 3223
Fax: +44(0) 238 029 2853
E-mail: gcossutta@wessex.ac.uk
Internet: www.wessex.ac.uk
Stockholm Convention Bureau, Fatigue 2002
P.O. Box 6911, SE-102 39 Stockholm, Sweden
Phone: +46 8 5465 1500, Fax: +46 8 5465 1599
email: Fatigue2002_abstract@stocon.se
<http://www.stocon.se/fatigue2002/>
Metal Powder Industries Federation
105 College Road East
Princeton, New Jersey 08540-6692, USA
Tel: (609) 452-7700, Fax: (609) 987-8523
Register on-line at www.mpif.org
Susan Hanley, Conference Secretariat
BEM 24, Wessex, Institute of Technology, Ashurst
Lodge, Ashurst, Southampton SO40 7AA, UK
Tel: +44(0) 238 029 3223
Fax: +44(0) 238 029 2853
E-mail: shanley@wessex.ac.uk
Prof. Jean le Maitre, Industrial and Human
Automatic Control and Mechanical Engineering,
Le Mont Houy, University of Valenciennes,
F-59313 Valenciennes Cedex 9, France
E-mail: euromech435@univ-valenciennes.fr
AMST'02: F. Miani
Via delle SCIENZE 208, I-33100 Udine, Italy
Tel: ++39 0432 558259, Fax: ++39 0432 558251
E-mail: amst@uniud.it
URL: <http://www.diegmi.uniud.it/amst>
E.G. Henneke, R.C. Batra or M.W. Hyer
Dept. of Engineering Science & Mechanics,
Virginia Polytechnic Institute and State University,
Blacksburg, Virginia 24061, U.S.A.
E-mails: henneke@vt.edu, rbatra@vt.edu,
hyerm@vt.edu
John Bendo
Manager, Engineering Programs,
ASME International
Three Park Avenue, New York,
NY 10016-5990, USA
Tel: 212-591-7055, Fax: 212-591-7671
E-mail: bendoj@asme.org

KONGRE ADI

TARİHİ

YAZIŞMA ADRESİ

ICRM 2002
2nd International Conference on
Responsive Manufacturing

26 – 28 Haziran, 2002
Gaziantep, Türkiye

ICRM 2002 – Conference Secretariat
University of Gaziantep
Department of Industrial Engineering
27310, Gaziantep – Turkey
Tel: 0090-342-360 1200/2600
Fax: 0090-342-360 4383
E-mail: rmc2002@gantep.edu.tr
URL: www.gantep.edu.tr/rmc2002
Mrs. Jean Quinn
Department of Engineering
University of Liverpool, Liverpool L69 3GH
Tel: +44 (0) 0151-794 4682
Fax: +44 (0) 0151-794 4693
e-mail: sustain@liverpool.ac.uk
Web site: www.liv.ac.uk/sustain

First International Conference on
Design and Manufacture for
Sustainable Development

27 - 28 Haziran, 2002
University of Liverpool, UK

Ing. Dorian D'Addona
Dept. of Mat. and Prod. Eng.
Univ. of Naples Federico II
Piazzale Tecchio, 80, 80125-Naples, Italy
Phone: +39.081.7682336
Fax: +39.081.7682362

ICME 2002 3rd CIRP
International Seminar on
Intelligent Computation in
Manufacturing Engineering

3 - 5 Temmuz, 2002
Ischia (Naples), Italy

Email: info@www.icme.unina.it
Web site: www.icme.unina.it

2002 7th International
Workshop on Advanced Motion
Control (AMC)

3 - 5 Temmuz, 2002
University of Maribor
Maribor, Slovenia

Dr. Alenka Hren
Faculty of EE & Com. Science
Smetanova 17, 2000 Maribor, SLOVENIA
(+386 2 220 7332,
+386 2 220 7315 (Fax)
alenka.hren@uni-mb.si

Ninth International Congress on
Sound and Vibration

8 - 11 Temmuz, 2002
Orlando, Florida, USA

<http://www.ro.feri.uni-mb.si/AMC>
ICSV9 Congress Secretariat
c/o Dr. Jamal Nayfeh
College of Engineering and Computer Science
University of Central Florida,
4000 Central Blvd.
P.O.Box 162993,
Orlando, Florida 32816-2993, USA
Tel: 407-823-2455,
Fax: 407-823-6334
E-mail: icsv9@mail.ucf.edu

2002 Japan-USA Symposium on
Flexible Automation
(JUSFA 2002)

15 - 17 Temmuz, 2002
International Conference
Center Hiroshima
Hiroshima, Japan

Web page: www.mmae.engr.ucf.edu/icsv9
Prof. Fuminori Oba
Hiroshima University
Higashi-Hiroshima 739 8527, JAPAN
(+81 824 24 7550
jusfa02@hiroshima-u.ac.jp
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/jusfa02/index.htm>

2002 16th International
Conference on Pattern
Recognition

11 - 15 Ağustos, 2002
Quebec Hilton
Quebec City, QC, Canada

Dr. Ching Suen
Concordia University
CENPARMI
1455 de Maisonneuve Blvd. West
Suite GM-606, Montreal,
Quebec H3G 1MB, CANADA
(+514 848 7950,
+514 848 4522
suen@cenparmi.concordia.ca
<http://icpr2002.gel.ulaval.ca/>

KONGRE ADI

TARİHİ

YAZIŞMA ADRESİ

MOVIC 2002 - 6th International
Conference on Motion and
Vibration Control

20 - 23 Ağustos, 2002
Urawa Royal Pines Hotel
Saitama, Japan

Prof. Takeshi Mizuno
Dept of Mechancial Engineering
Saitama University, Shimo-Okubo 255
Saitama 338-8570, JAPAN
(+81 48 858 3455,
+81 48 858 3712 (Fax)
mizar@mech.saitama-u.ac.jp
<http://www.mech.saitama-u.ac.jp/movic2002>

Fifth European Conference on
Structural Dynamics

2 - 5 Eylül, 2002
Technical University Munich

EURODYN 2002 Office
Lehrstuhl für Baumechanik
Technische Universität München
D-80290 Munich, Germany
Phone: +49 89 289 28345
Fax: +49 89 289 28665
e-mail: eurodyn2002@bv.tum.de

2002 8th IEEE International
Conference on Methods &
Models
in Automation & Robotics
(MMAR)

2 - 5 Eylül, 2002
Szczecin, Poland

Prof. Zbigniew Emirsajlow
Technical Univ. of Tech., Institute of Control Eng.
ul. Sikorskiego 37,
70-313 Szczecin, POLAND
(+49 91 4495410,
+48 91 4495349 (Fax)
emirsaj@we.ps.pl
<http://www.mmar.ps.pl/>

34th Solid Mechanics Conference

2 - 7 Eylül, 2002
Zakopane, Poland

Professor K. Sobczyk
Institute of Fundamental Technological Research
Polish Academy of Sciences
Swietokrzyska 21,
00-049 Warszawa, Poland
Phone: (+48-22) 828 74 71
Fax: (+48-22) 826 98 15
e-mail: solmech@ippt.gov.pl

6th International Conference on
Mechatronic Design and
Modeling, MDM 2002

4 - 6 Eylül, 2002
Kapadokya, Türkiye

jbauer@ippt.gov.pl
<http://solmech02.ippt.gov.pl>
6th International Conference on Mechatronic Design
and Modeling (MDM2002)
Mechanical Engineering Department
Middle East Technical University (METU)
06531 Ankara - TURKEY
Phone: +90 312 210 5217,
Fax: +90 312 210 1329

10th International Conference on
Machine Design and Production,
umtik2002

4 - 6 Eylül, 2002
Kapadokya, Türkiye

E-Mail: mdm@metu.edu.tr
URL: <http://design.me.metu.edu.tr/mdm/>
International Machine Design and Production
Conference (UMTIK 2002)
Mechanical Engineering Department
Middle East Technical University
06531 Ankara - TURKEY
Phone: +90 312 210 5217
Fax: +90 312 210 1329

14th European Conference on
Fracture, ECF 14

8 - 13 Eylül, 2002
Cracow, Poland

E-Mail: umtik@metu.edu.tr
URL: <http://design.me.metu.edu.tr/umtik/>
Prof. A. Neimitz, Kielce University of Technology,
Al. 1000 lecia P.P. 7,
25-314 Kielce, Poland
Tel: +48413424307, Fax: +48413424295
E-mail: neimitz@tu.kielce.pl
Website: <http://ecf14.simr.pw.edu.pl>

KONGRE ADI

TARİHİ

YAZIŞMA ADRESİ

ECF14
The 14th European Conference on
Fracture
FRACTURE MECHANICS
BEYOND 2000

8 – 13 Eylül, 2002
Cracow, Poland

23rd ICAS Congress

8 - 13 Eylül, 2002
Toronto, Canada

9th International Conference on
Metal Forming

9 – 11 Eylül, 2002
Birmingham, UK

2002 1st International IEEE
Symposium "Intelligent
Systems"

10 - 12 Eylül, 2002
Sunny Day Marina Hotel
Varna, Bulgaria

International Conference on Shot
Peening

16 - 20 Eylül, 2002
Garmisch-Partenkirchen, Germany

2002 IEEE CCA/CACSD Joint -
Control Applications/Computer
Aided Control Systems Design

18 - 20 Eylül, 2002
Scottish Exhibition and
Conference Centre
Glasgow, Scotland

IROS 2002
IEEE/RSJ International
Conference on Intelligent Robots
and Systems
2002 IEEE International
Conference on Systems, Man
and Cybernetics

30 Eylül – 4 Ekim, 2002
Lausanne, Switzerland

06 - 09 Ekim, 2002
Hammamet, Tunisia

Prof. Krzysztof Golos
Conference ECF 14
Warsaw University of Technology
Institute of Machine Design Fundamentals
84 Narbutta Str. 02-524 Warszawa, Poland
Tel: +(48) (22) 660 82 62
Fax: +(48) (22) 660 86 22
e-mail: ecf14@simr.pw.edu.pl
<http://ecf14.simr.pw.edu.pl>
ICAS Secretariat
66, route de Verneuil, BP 3002
LES MUREAUX CEDEX 78133, France
Tel: 33 1 3906 3423
Fax: 33 1 3906 3615
Email: secrexec@icas.org
Web: www.icas.org
Conference Secretary, Metal Forming 2002,
School of Manufacturing and Mechanical
Engineering, University of Birmingham, Edgbaston,
Birmingham B15 2TT, UK
Tel: +44 (0) 121 414 4197
Fax: +44 (0) 121 414 3958
E-mail: metalform@bham.ac.uk
Mr. Vladimir S. Jotsov
P.O. Box 161, Sofia 1113,
BULGARIA
(+35 924 44930,
+35 927 08087 (Fax)
jotsov@ieee.org
<http://www.iinf.bas.bg/is>
Dr. Peter Paul Schepp, Ms. Petra von der Bey
Deutsche Gesellschaft für Materialkunde e.V.
Hamburger Allee 26,
D-60486 Frankfurt
Phone: +49-69-7917 750
Fax: +49-69-7917 733
E-mail: shot-peening@dgm.de
www.dgm.de/shot-peening
Mr. Andrew K. Smith
Industrial Control Centre,
University of Strathclyde
50 George St., Glasgow,
G11QE, SCOTLAND
(+44 141 548 2880,
+44 141 548 4203 (Fax)
drew.smith@eee.strath.ac.uk
<http://www.cacsd2002.org/>
Prof. Roland Siegwart
E-mail: roland.siegwart@epfl.ch
URL: <http://iros02.epfl.ch/>
Dr. Abdelkader El Kamel
Ecole Centrale De Lille
BP 48, F59651 Villeneuve D'Asco, FRANCE
(+33 320 33 5411, +33 320 33 5499 (Fax)
Abdelkader.ElKamel@ec-lille.fr
<http://smc02.ec-lille.fr/>

KONGRE ADI

TARİHİ

YAZIŞMA ADRESİ

The Fifth International
Conference and Workshop on
Numerical Simulation of 3D
Sheet Forming Processes

21 - 25 Ekim, 2002
Jeju(Cheju) Island, Korea

7th ICTP International Conference
on Technology of Plasticity

27 Ekim – 1 Kasım, 2002
Yokohama, Japan

6th International Tribology
Conference, AUSTRIB 2002

2 – 5 Aralık, 2002
Perth, Western Australia

2002 7th International
Conference on Control
Automation Robotics & Vision
(ICARCV 2002)

03 - 06 Aralık, 2002
TBC, Singapore

2002 41st IEEE Conference on
Decision and Control

10 - 13 Aralık, 2002
Rio Suite Hotel
Las Vegas, NV

ICRA03
IEEE International Conference on
Robotics and Automation
10th International Conference on
Pressure Vessel Technology

12 – 17 Mayıs, 2003
Taipei, Taiwan
7 – 10 Temmuz, 2003
Vienna, Austria

Numisheet 2002 Conference Secretariat
CANESM Lab.,
ME 3254, KAIST
Science Town,
Taejon, 305-701, Korea

<http://www.numisheet2002.org>

E-mail: webmaster@numisheet2002.org

.Jun Yanagimoto, Assoc.Prof., Dr.-Ing.

Institute of Industrial Science,
The University of Tokyo,
4-6-1 Komaba, Meguro, Tokyo,
153-8505, Japan,

Fax: +81-3-5452-6203

e-mail: ictp7@iis.u-tokyo.ac.jp

URL: <http://www.ictp7.jstpr.or.jp>

Conference Manager AUSTRIB'02, Tribology
Laboratory, Dept. of Mechanical & Materials
Engineering, University of Western Australia, 35
Stirling Highway, Crawley, Western Australia 6009.
Tel: +6189380 1858; Fax: +6189380 1024;

E-mail: austrib@mech.uwa.edu.au;

Website:

www.mech.uwa.edu.au/AUSTRIB2002

Ms. Merlin Toh

ICARCV 2002 Secretariat

Conference Mgmt Centre/CCE

Nanyang Technological Univ.

Admin. Annex Bldg. #04 06

42 Nanyang Ave., 639815, SINGAPORE

(+65 790 4723,

+65 793 0997 (Fax)

icarcv2002@ntu.edu.sg

<http://www.ntu.edu.sg/eee/icarcv/>

Prof. Umit Ozguner

Ohio State University

2015 Neil Ave.,

Columbus, OH 43210

(+1 614 292 5940,

+1 614 292 7695 (Fax)

ozguner.1@osu.edu

<http://icra2003.org>

Institute for Pressure Vessel & Plant Technology,
Gusshausstr. 30/329, A-1040 Vienna, Austria.

Fax: +43 15041588;

E-mail: sekretariat+e329@tuwien.ac.at;

Website: <http://info.tuwien.ac.at/IAA/>

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 değerlendirilmesini yapacak nitelikte olmalıdır.
- Çeviri Makaleler: Yerli teknoloji ve bilgi birikimine önemli bir katkıda bulunacak nitelikte olmalıdır.
- Kısa Makaleler: Yapılan bir çalışmayı zaman geçirmeden duyuran veya bu dergide yayımlanan bir makaleyi tartışan yazılardır.
- Diğer: Yukarıda tanımlanan içerikte olmayan, ancak üyelerimize faydalı olabilecek, imalat ve teknoloji ile ilgili çalışma ve araştırmaların sunulduğu, firma ve kuruluşların teknik özelliklerinin tanıttığı 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 aynısı olmalıdır. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır. Makalenin kaydedildiği disket/CD veya e-mail kullanılan kelime-işlemci paket programı ve sürümü belirtilerek gönderilmelidir.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

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

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

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

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

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

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

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

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

Başlıklar

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

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

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

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

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

Matematiksel Bağıntılar

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

Şekiller, Çizelgeler ve Resimler

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

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

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

Dip Notu

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

Kaynakça

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

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

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

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

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

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

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.