

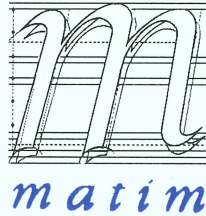
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt : 8

Sayı : 1

Mayıs 2006



Makina Mühendisliği Bölümü
ODTÜ - ANKARA

Sahibi

Makina Tasarım ve İmalat Derneği adına Yönetim Kurulu Başkanı
Bilgin KAFTANOĞLU

ODTÜ

Yayın Kurulu

Metin AKKÖK
Can ÇOĞUN
İlhan KONUKSEVEN (Sorumlu Yayın Yönetmeni)

ODTÜ
Gazi Ü
ODTÜ

Danışma Kurulu

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

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

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

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

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

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

e-mail : matim@metu.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 8 Sayı: 1 Mayıs 2006

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 8 No: 1 May. 2006

ISSN 1302-9487

TELİF HAKKI

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

ABONE KOŞULLARI

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

TANITIM KOŞULLARI

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

BANKA HESAP NUMARASI

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

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

ODTÜ Basım İşliği

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

Silindirik Tip Çapaksız Dövme Kalıplarının Tasarımında
Bir Uzman Sistem Uygulaması 1

Necip Fazıl Yılmaz
Ömer Eyercioğlu

Elastik Süsyansiyon Tamponları için Bilgisayar
Destekli Tasarım Yöntemi 11

Kemal Çalışkan
İlhan Konukseven
Y. Samim Ünlüsoy

Derin Çekmede Buruşmanın Bilgisayar Destekli
Modellenmesi 20

Mehmet Ali Pişkin
Bilgin Kaftanoğlu

Ürün Tasarımıyla İlgili Kalite Kontrol Ölçütlerinin
Seçiminde Uzman Sistem Yaklaşımı 28

Selçuk Çebi
Emrullah Demirci

Epoksi ve Polyester Reçineli Polimer Betonda
Granülometri ve Bağlayıcı Oranları Değişimiyle Eğilme
Dayanımı Optimizasyonu 41

Ergun Ateş

**YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE
BİLİMSEL ETKİNLİKLER 53**

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 dağıtımını 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

Silindirik Tip Çapaksız Dövme Kalıplarının Tasarımında Bir Uzman Sistem Uygulaması

Necip Fazıl Yılmaz
Y. Doç. Dr.

Ömer Eyercioğlu
Prof. Dr.

Gaziantep Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
27310 Gaziantep

Bu çalışmada, silindirik tip parçaların çapaksız dövmeciliğinde kullanılan kalıpların tasarımı için bir uzman sistem geliştirilmiştir. Bu amaçla, C++ dilinde ileriye zincirleme yöntemi kullanılarak özel bir çıkarım mekanizması hazırlanmıştır. Bu çalışma, genelde bilgi tabanlı özeldir ise kural tabanlı bir yapıya sahiptir. Grafik ekranı olarak AutoCAD kullanılmaktadır. AutoCAD çizimi DXF formatına dönüştürülmekte ve çizimdeki tüm noktaların koordinatları ilgili veritabanına aktarılmaktadır. Parçanın dövülebilirlik kontrolü yapıldıktan sonra dövme yükü hesaplanmaktadır. Belirlenen bu dövme yükü ile birlikte kalıp malzemesinin seçilmesi sonucunda program, kalıp iç geometrisinin ve sıkma halkası çapının olması gereken boyutunu hesaplamaktadır. Son aşamada ise bir kalıpta bulunması gereken tüm parçalar ile birlikte zımbanın 2D çizimi kullanıcıya sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Uzman Sistem, Dövme, Kalıp Tasarımı

GİRİŞ

Firmaların rekabet üstünlüğü sağlamak için imalat sistemiyle ilgili temel kararları alırken imalat stratejilerinin belirlenmesi önemli bir karar modelini oluşturmaktadır. Literatürde kullanılan modellerin ileri teknolojilerde kullanılmasının yeterli olup olmaması ya da uygulamada karşılaşılan sorunlar halen tartışılmakta olan bir konudur. İşletmeler yaşamsal kararlarını alırken, genelde o ana kadar elde edilen tecrübeler ışığında kararlar almaktadır. İşte bu amaçla karar destek sistemleri ile uzman sistemin birleştirilmesi çabaları ortaya çıkmaktadır. Turban'a [1] göre uzman sistem, özel bir takım problemlerin çözümünde uzmanların bilgisini ve çıkartım sürecini taklit etmeyi amaçlayan uzman programlardır.

En eski ve temel metal şekillendirme işlemlerinden biri olan klasik dövmecilik, malzemenin kontrollü şekillendirilmesi ve tanelerin uygun yönlendirilmesi nedeniyle, mukavemet/ağırlık oranı yüksek parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılır. Ancak, dövmecilik işlemleri genellikle operatörün becerisine ve tecrübesine bağlıdır [2]. Sanayileşmiş ülkelerdeki üretim sistemlerinin ileri üretim teknolojilerinin endüstriyel alanda kullanılması sonucu hızlı bir değişim sürecine girdiği görülmektedir. Özellikle 1990'lı yıllardan bu yana "Yapay Zeka (YZ)" teknikleri mühendislik uygulamalarında geniş bir yer bulmuştur. Dövme kalıplarının tasarımında ise YZ tekniklerinden birisi olan "Uzman Sistem (US)" kullanımını bu alanda büyük faydalar sağlayacaktır [3].

UZMAN SİSTEM

Bilgi tabanlı sistem olarak ta kabul edilen uzman sistem, konusunda uzman kişilerin bilgilerini sorgulama tekniği kullanarak problemleri çözmeye kullanılan akıllı bilgisayar programları olarak tanımlanabilir. Yapay zeka problemlerinde uzman sistemler kullanılarak çok başarılı sonuçların alındığı görülmüştür. Uzman sistemi ilk kullananlardan birisi olan Feigenbaum da [4], uzman sistemi "konusunda uzman kişilere ihtiyaç duyulan zor problemlerde çıkarım mekanizmasını ve bilgiyi kullanan zeki bilgisayar programı" olarak tanımlamıştır.

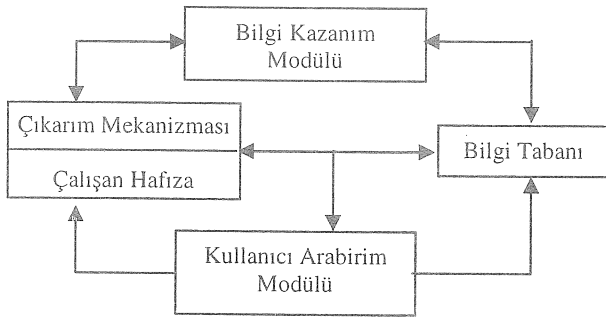
Uzman sistemler, yapay zekanın bir uygulama alanı olup, problemlerin çözümünde özelleştirilmiş bilgiyi kullanarak bir uzman kişinin düzeyinde çözüm sunmaktadır [5]. Uzman sistemleri diğer bilinen bilgisayar programlarından ayıran en önemli özellik, uzman sistemlerin esnek bir yapıya sahip olması ve yeni oluşan bilgi ya da kuralların programın ana yapısına herhangi bir müdahalede bulunmadan sisteme kolaylıkla eklenebilmesidir. Çünkü, bilgi tabanlı programın algoritmasından ayrıdır ve istenildiği zaman algoritmadan bağımsız olarak bilgi tabanına ulaşılabilir [6].

Uzman sistem oluşturulurken bilgi tabanlı (knowledge based) bir sistem oluşturulabileceği gibi kural tabanlı (rule based) bir sistem de oluşturulabilir. Sebep sonuç ilişkisinde bilgi tabanını oluşturmak için kullanıcıya sorulan sorular ve bunlara ait cevaplara katsayı (confidence factor) uygulaması yaparak bilgi

tabanında değerlendirilir. Bu işlem kural tabanlı uzman sistemlerde, EĞER-SONRA (IF-THEN) çıkarımlarıyla yapılır. Bir uzman sistemde bulunan elemanlar aşağıda belirtilmektedir.

UZMAN SİSTEMİN ELEMANLARI

Uzman bilgisi gerektiren problemleri çözmeye kullanılan uzman sistemler, Şekil 1'de görülen elemanlardan oluşmaktadır. [7]



Şekil 1. Uzman Sistemin Genel Yapısı

Kullanıcı Arabirim Modülü: Kullanıcı ile uzman sistemin iletişimi bu modül sayesinde sağlanır. Çıkarım mekanizması ve çalışan hafıza ile birlikte bilgi tabanındaki bilgi ve kuralların uygulanmasını sağlar. Uzman sistemin önerdiği sonuçlara NEDEN-NASIL (WHY-HOW) sorularını sorarak sonucun sorgulanmasına imkan tanır.

Çıkarım Mekanizması: Geçerli olan bilgi ve kuralların uygulanmasını sağlar. Çıkarımda genel olarak "ileriye zincirleme" (forward chaining) ve "geriye zincirleme" (backward chaining) yöntemleri kullanılır [8]. İleriye zincirleme, bilgi tabanındaki EĞER (IF) ile ifade edilen önermelerin THEN (SONRA) ile karşılığının olup olmadığına bakarak sebepten sonuca doğru gidilen zincirlemedir. Geriye zincirleme ise bunun tam tersi bir yöntem olup bilinen bir sonuçtan bilinmeyen sebeplere ulaşmayı amaçlayan bir zincirlemedir.

Çalışan Hafıza: Probleme ilişkin şartları içerir. Bilgi tabanı ile karıştırılmamalıdır. Bilgi tabanında var olan verilerin aktif hale getirildiği hafızadır.

Bilgi Tabanı: İlgili alana özel tecrübeye dayalı bilginin saklandığı veri tabanıdır. Bilgi ve kurallardan meydana gelir. Bilgi; nesnel arasındaki ilişki, sınırlama ve açıklamalardan oluşur. Kurallar ise; problem alanı ile ilgili kavramlar arasındaki mantıksal ilişkileri tanımlar [9].

Bilgi Kazanım Modülü: Bu modül, bilgi tabanındaki bilgi ve kuralları değiştirmek, yenisini eklemek veya çıkarmak için kullanılabileceği gibi bazı gelişmiş

uzman sistemlerde örnekler yardımıyla öğrenip otomatik olarak ta kurallar türetilmektedir.

DÖVME KALIP TASARIMINDA UZMAN SİSTEM (EX-FOR)

Bu çalışmada kullanılan kullanıcı ara birim modülü, kullanıcı ile çıkarım mekanizması arasındaki çift yönlü iletişimi sağlamaktadır. Bu ara birim modülü, uzman sistem yapısını oluşturmak ve veri tabanına bilgi girişini sağlamak için kullanılmaktadır. Şekil 2'de kural girişinin yapıldığı yazı ekranı görülmektedir.

Kalıp tasarımında ilk işlem, ürün geometrisinin sistem tarafından algılanmasıdır. İmal edilecek parçanın grafik tabanlı bir CAD programında çizimi yapılmalıdır. Bu çalışmada CAD programı olarak AutoCAD kullanılmıştır. İmal edilecek parçanın dövülebilir bir geometriye sahip olup olmadığını belirleyebilmek için AutoCAD'te hazırlanan çizim, DXF formatına dönüştürülmekte ve program tarafından çizimdeki tüm unsurların bilgileri ilgili veritabanına aktarılmaktadır.

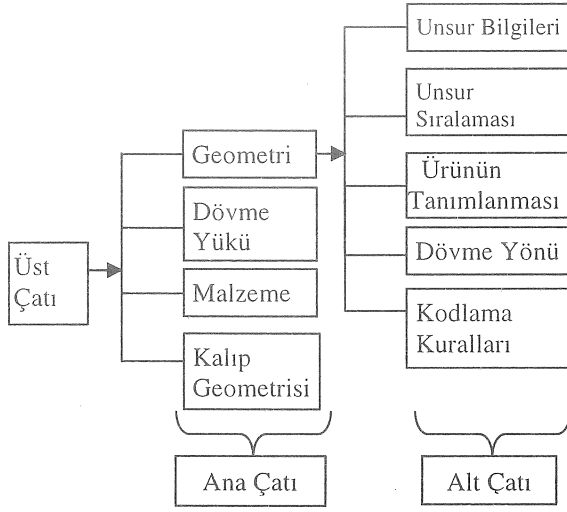
Statement	Antecedent	Equation	Consequent
IF	X1	=	X2
THEN	Entity	=	Vertical Line
IF	Y1	=	Y2
THEN	Entity	=	Horizontal Line

Şekil 2. Kural Girişi

EX-FOR ÇATI YAPISI

EX-FOR çatı yapısı (framework) bir semantik ağ yapısı şeklinde oluşturulmuştur. Ürün geometrisi, dövme yükü, kalıp geometrisi, kalıp montajı ve malzeme gibi **ana çatılar**, **üst çatıya** bağlanmıştır. Ayrıca her bir ana çatının değerlerini oluşturan **alt çatılar** bulunmaktadır. Aşağıdaki Şekil 3'de EX-FOR genel çatı yapısı görülmektedir.

Ana çatılar objelerin genel olarak sınıflandırması için kullanılmaktadır. Veri tabanındaki bilgilere ulaşmak için, kayıtlı bilgilerin herhangi bir veri taramasında nasıl bulunacağını ve hangi şartlarda işleme konulacağını kuralları ana çatıda belirtilir. Bununla birlikte ana çatıların değerlendirilmesi ancak alt çatıya girilen verilerin değerlendirilmesiyle mümkündür.



Şekil 3. EX-FOR Genel Çatı Yapısı

Bu çalışmada, imal edilmesi istenen ürün için gerekli olan kalıp geometrisi oluşturulmaya çalışılmıştır. Dolayısıyla, üst çatıya kalıp tasarımı oluşturmaktadır. Üst çatıya ulaşabilmek için çıkarım mekanizmasında ileriye zincirleme yöntemi kullanılmıştır. Sisteme girilen ilk veri ürün geometrisinin CAD ortamındaki çizimidir. Bu çizim dosyası kullanılarak ürünün dövülebilir bir geometriye sahip olup olmadığı kontrol edilmektedir. Dövülemez bölgelerin olması durumunda sistem bunu tanımlayabilmekte ve dövülebilir geometriyi oluşturmaktadır.

GEOMETRİ ÇATISI

CAD dosyasından alınan verilerden, dövülebilir geometrinin elde edilmesine kadar olan süreçteki çıkarım mekanizması, çalışan hafıza ve bilgi tabanı Şekil 4'te görülmektedir.

Unsur Bilgileri çatısı, AutoCAD ortamında çizilen ürüne ait tüm verileri içermektedir. Ekranın sınır ayarları, katmanlar, çizgi tipleri ve renkleri gibi, doğrudan çizgi ve yaylardan oluşan geometrinin koordinatları ile ilgisi bulunmayan veriler de yine unsur bilgilerinde yer almaktadır.

Unsur Sırası çatısı ise, ürün geometrisini oluşturan çizgi ve yayların saat yönünde belirli bir sıraya konulmasını sağlamaktadır. Çizimi yapan kişi çizimleri oluştururken belirli bir sırayı takip etmek zorunda değildir. Ancak kural tabanlı bir uzman

sistemde mutlaka bu unsurlar belirli bir sırada olmalıdır. Bu çalışmada, kullanıcıdan bunu istemek yerine oluşturulan unsur bilgi tabanıyla bu sorun kendiliğinden çözülmektedir.

Ürünün Tanımlanması çatısında elde edilen unsur bilgileri ve unsur sıraları ile birlikte ürünün geometrik yapısı sisteme entegre edilmektedir.

Dövme Yönü çatısı, uygulamada karşılaşılabilecek bir sorunu çözmek amacıyla geometri algılama sürecine dahil edilmiştir. Dövülecek parçanın kalıbını yaparken, iş parçasının kalıp içerisinde pozisyonlanması ve dövme esnasındaki malzeme akışının belirlenmesi, dövme yükü açısından çok önemlidir.

Ayrıca, dövülmüş parçanın kalıptan çıkarılması dikkate alınması gereken bir diğer konudur. Bu nedenle geniş olan yüzey dövme yüzeyi olarak seçilmiştir.

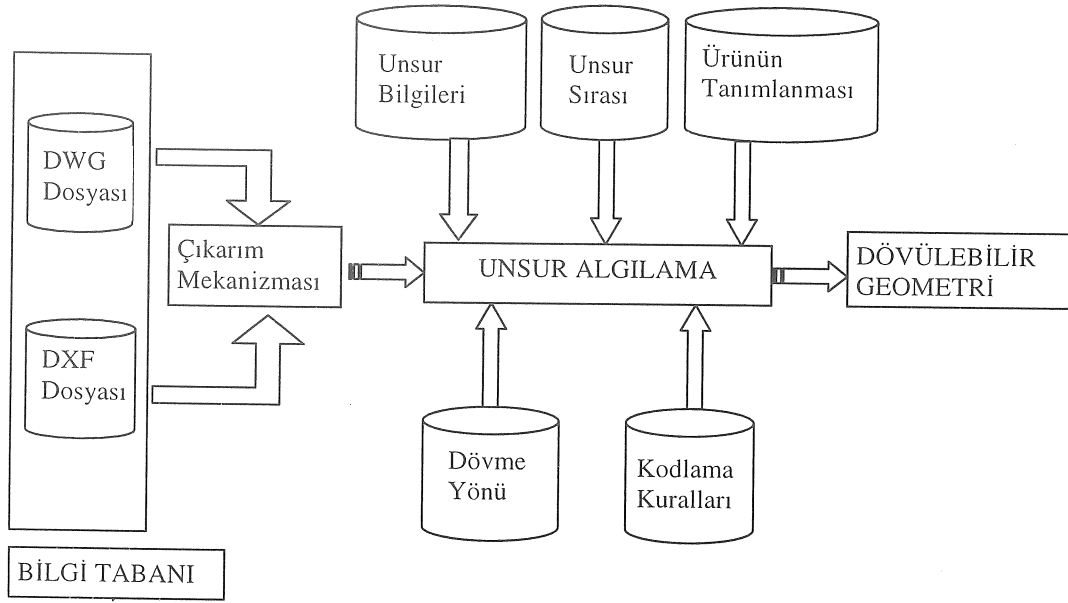
Kodlama Kuralları çatısı, dövülebilir geometrinin oluşturulması zincirindeki son halkayı temsil etmektedir. Her bir unsura 1'den 9'a kadar kod numarası atanmış olup dövülemez bölgelerin neler olabileceğine dair bütün kurallar sisteme girilmiştir. Şekil 5'te unsurlara verilen kod numaraları görülmektedir. Kodlamaya ilişkin kurallar zinciri çalıştıktan sonra dövülebilir geometriye ait çizgi ve yayların koordinatları belirlenmektedir. Böylelikle elde edilen geometri daha sonra yük ve gerilme hesaplarını yapmak üzere veritabanında saklanmaktadır.

DÖVME YÜKÜ ÇATISI

Dövmecilikte en önemli parametrelerden birisi de dövme yükünün belirlenmesidir. Kalıbın tasarımı ancak dövme yükünün belirlenmesi ile mümkün olabilir. Özellikle karmaşık şekilli parçaların dövme yükünün belirlenmesi için analitik bir çözüm mevcut değildir.

Ampirik ve sayısal çeşitli yaklaşımlar kullanılmaktadır [16-20]. Mielnik'e [21] göre eksenel simetrik dövmede en iyi çözümü Elementel Üst Sınır Teorisi vermektedir.

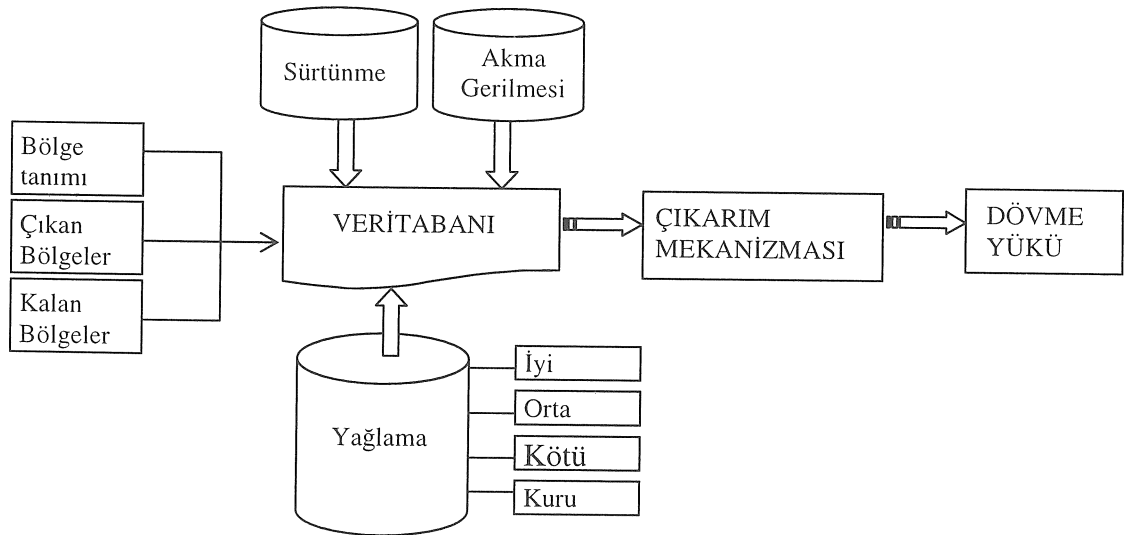
Bu çalışmada Elementel Üst Sınır Teorisi (Upper Bound Elemental Technique) kullanılarak dövme yükü tahmin edilmeye çalışılmıştır. Şekil 6'da dövme yükü çatısını oluşturan alt çatılar ile dövme yükünün belirlenmesi sırasındaki çıkarım mekanizması, çalışan hafıza ve bilgi tabanı görülmektedir.



Şekil 4. Geometri Algılama Süreci

Unsur lar	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kod No	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Şekil 5. Unsurlara Ait Kod Numaraları



Şekil 6. Dövme Yüğü Çatısı

Elementel Üst Sınır Teorisi kullanılarak, dövülecek geometri 8 ana bölgeye ayrılmış (Şekil 7) ve her bir bölgeye gereken dövme yükü hesap edildikten sonra bunlar toplanarak toplam dövme yükü bulunmuştur (Şekil 8).

Ortalama kalıp hızının 1m/sn alındığı bu çalışmada deformasyon yükü, sürtünme yükü ve kayma yükleri toplanarak her bir bölge için toplam dövme yükü hesap edilmiştir [3,10].

$$P = \dot{E}_d + \dot{E}_f + \dot{E}_s$$

Birim şekil değiştirme hızları:

$$\dot{\epsilon}_R = \frac{\partial \dot{u}}{\partial R} \quad \dot{\epsilon}_Z = \frac{\partial \dot{w}}{\partial z} \quad \dot{\epsilon}_\theta = -\left(\dot{\epsilon}_R + \dot{\epsilon}_Z \right)$$

Toplam enerji:

$$\dot{E} = \sqrt{\frac{2}{3}} \sigma_y \int \left(\dot{\epsilon}_R^2 + \dot{\epsilon}_\theta^2 + \dot{\epsilon}_Z^2 + \frac{1}{2} \dot{\gamma}_{RZ}^2 \right)^{1/2} dV + \sigma_y \int_S \dot{m} \dot{S} ds$$

σ_y : Malzemenin akma gerilmesi

$\dot{\epsilon}_R, \dot{\epsilon}_Z, \dot{\epsilon}_\theta$: R, Z, ve θ yönündeki birim şekil değiştirme hızları

$\dot{\gamma}_{RZ}$: R-Z düzleminde birim kayma hızı

m: Sürtünme faktörü

Buradan toplam dövme yükü:

$$P = \pi R^2 \sigma_y \left(1 + \frac{2}{3\sqrt{3}} m \frac{R}{H} \right)$$

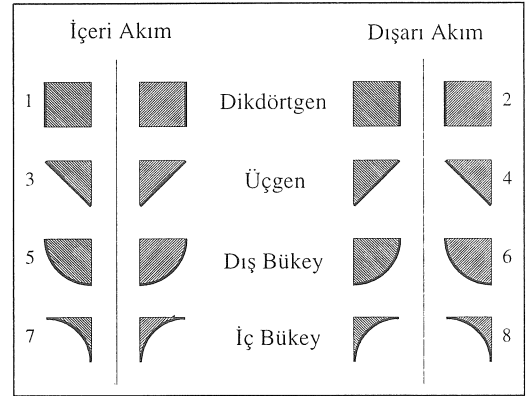
Buradaki formülün $\left(\frac{2}{3\sqrt{3}} m \frac{R}{H} \right) \pi R^2 \sigma$ kısmı sürtünme etkisini,

$\pi R^2 \sigma$ kısmı ise dövme yükünü ifade etmektedir.

Bölge Tanımı Çatısı, Geometri çatısındaki DXF dosyalarından yararlanarak ürün geometrisinin dış hatlarını oluşturan çizgi ve yay parçalarını tanımlar. Şekil 7'de verilen bölgeleri tanımlayabilme görevini bölge tanımlama çatısı gerçekleştirmektedir. Bu nedenle çizgilerin yatay, dikey, sola yatık ya da sağa yatık olmaları ile yay parçalarının saat yönünde veya tersinde iç bükey ya da dış bükey olmaları önemlidir.

Çıkan Bölgeler Çatısı, ürün geometrisinin dış hatlarındaki dikdörtgen olmayan bölgeleri ana geometriden ayırarak ayrı bir veritabanında saklamak için kullanılmaktadır. Dövme işlemi sırasında metal

akışı değişik yönlerde olabilmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda [11-13] ürün geometrisi yine bölgelere ayrılmış ancak her bir bölgenin bir diğer bölge ile tam temas edip etmediği pek dikkate alınmamıştır. Oysaki bu durum, başta sürtünme etkisi olmak üzere dövme yükünün belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada geliştirilen algoritma ile ürün geometrisindeki dikdörtgen olmayan bölgeler geometriden çıkartılarak geriye sadece düzgün bölünebilen geometriler bırakılmıştır. Böylelikle Üst Sınır Teorisine göre bölünen her bir bölgenin bir diğeri ile tam temas halinde olması sağlanmıştır.



Şekil 7. Temel Bölgeler

Kalan Bölgeler Çatısı, ürün geometrisindeki dikdörtgen olmayan bölgeler çıkartıldıktan sonra, geriye kalan geometriyi her bir köşeden bir diğerine yatay ve dikey çizgiler çizerek dikdörtgen bölgeler oluşturmak ve bu bölgelere ait verileri veritabanında depolayabilmek için kullanılmaktadır.

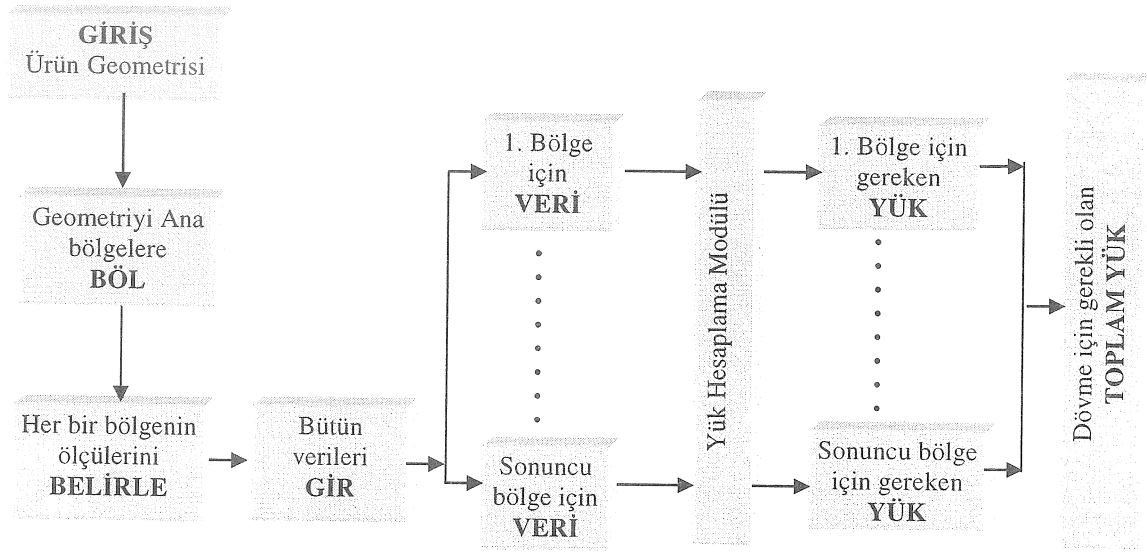
Sürtünme Çatısı, sürtünme yükünü hesaplayabilmek için kullanılan bir çatıdır. Ürün geometrisi bölgelere ayrıldıktan sonra her bir bölgenin kalıba, prese yada bir diğer bölgeye temasının olup olmadığı kontrol edilmelidir. Sürtünme katsayısı atanırken bu durum göz önünde bulundurulmaktadır.

Akma gerilmesi Çatısı, her bir malzemenin deformasyon özellikleri farklı olduğundan değişik deformasyon şartlarında malzemelerin akma gerilmelerinin depolandığı bir çatıdır. Hangi şartlarda gerilme değerinin ne olacağı bu çatıdaki değerlendirmeler neticesinde oluşmaktadır.

Yağlama Çatısı, sürtünme çatısındaki bilgileri alıp yağlama çatısındaki bilgileri ekleyerek dövme yükünün hesabına yardımcı olmaktadır. İyi, ortalama, kötü ve kuru (yağlamasız) olmak üzere dört yağlama şartı bulunmaktadır. Hangi şartlarda yağlama yapıldığı kullanıcı tarafından belirtilmelidir.

MALZEME ÇATISI

Dövme yöntemiyle imalat, geniş bir bilgi birikimi gerektirdiğinden imalatın her aşamasında bu bilgilerin değerlendirilmesi ve sisteme entegre



Şekil 8. Toplam Dövme Yüğü Algoritması

edilmesi gerekmektedir. Geliştirilen sitemdeki bilgi tabanı ve kurallar, oluşturulan algoritmadan ayrı olduğundan yeni kuralların eklenilmesi veya çıkartılması programdan bağımsız bir şekilde yapılabilmektedir. Malzeme çatısı tam olarak uzman sistemin gereksinimlerini yerine getirmektedir. 29 farklı grupta, her bir grupta yer alan pek çok malzeme ve her bir malzeme için 27 farklı özelliğin bulunduğu geniş bir malzeme veri tabanı oluşturulmuştur.

Malzeme veritabanının birinci bölümünde 29 farklı malzeme tanımlanmıştır (Şekil 9). Ürünün malzemesi bu grup içinden seçilmektedir. Seçilen malzemeye ait normlar ve 27 farklı malzeme özelliklerini belirten bilgiler yine malzeme veritabanı ekranında görülmektedir.

İstenildiği takdirde yeni malzeme girişi yapılabildiği gibi şifreye bağlı olarak mevcut bilgilerin de değiştirilmesi mümkündür. Malzeme grupları ve bunlara ait özelliklerin bir kısmı aşağıdaki Şekil 10 ve Şekil 11'de görülmektedir.

GROUP	MATERIAL
1	Carbon Steels
2	Low Alloy Steels
3	HSLA Steels
4	Gray Cast Irons
5	Ductile Cast Irons
6	Malleable Cast Irons
7	Corrosion-resistant Cast Irons

PROPERTY NAME	PROPERTIES
Type of Processing	HR
Tensile Strength (Mpa)	300
0.2% ofset Yield Strength(Mpa)	170
Elongation in 50mm %	30
Reduction Area %	55

GROUP	MATERIAL
1	Carbon Steels
2	Low Alloy Steels
3	HSLA Steels
4	Gray Cast Irons
5	Ductile Cast Irons
6	Malleable Cast Irons
7	Corrosion-resistant Cast Irons
8	Aluminium Alloys
9	Copper Alloys
10	Pure and Low Alloy Nickels
11	Ni-Cr and Ni-Cr-Fe Alloys
12	Fe-Ni-Cr Alloys
13	Controlled Expansion Alloys
14	Magnesium Alloys
15	Tin base solders

Şekil 10. Malzeme Grupları

PROPERTY	PRONAME
1	Type,Class or Grade
2	Alloy Name
3	Alloy Number
4	Product Forms
5	Condition
6	Type of Processing
7	Tensile Strength (Mpa)
8	Ultimate Tensile Strength (Mpa)
9	Ultimate Strength (Mpa)
10	0.2% ofset Yield Strength(Mpa)
11	Tensile Yield Strength (Mpa)
12	Elongation in 200mm%
13	Elongation in 50mm %
14	Elongation in 25mm %
15	Reduction Area %
16	Hardness

Şekil 11. Malzeme Özellikleri

KALIP GEOMETRİSİ ÇATISI

Kalıp malzemesinde meydana gelen gerilme, dövme sırasında yüksek düzeydeki iç basınçtan kaynaklanmaktadır. Kalıp cidarında meydana gelen basınç tüm yüzeyde ve dövme işlemi boyunca sabit değildir. Kalıp geometrisini ve boyutlarını etkileyen faktörler (Şekil 12) mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Kalıp geometrisini ve boyutlarını etkileyen faktörler şunlardır [14,15,16]:

a) *Elastik kalıp genişmesi*: Dövme yükü altında kalıp elastik olarak genişler ve dolayısıyla kalıp yarıçapı (R_1), ilk yarıçapına (R_0) göre U_e miktarı kadar fazla olmalıdır.

$$R_1 = R_0 + U_e$$

b) *Isıl kalıp genişmesi*: Sıcak dövmede kalıp, ön ısıtmaya tabi tutulmalıdır. Dolayısıyla kalıp U_t miktarı kadar ilk yarıçapından daha büyük olmalıdır.

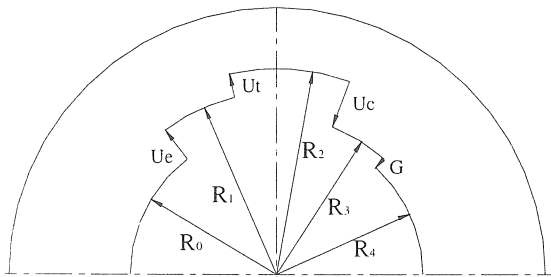
$$R_2 = R_0 + U_e + U_t$$

c) *Ürün büzülmesi*: Ilık (warm) ve sıcak dövmede, soğuma sırasında ürünün boyutlarında küçülme meydana gelmektedir. Meydana gelen bu küçülme miktarı (U_c), boyut hesabı yapılırken ilk yarıçaptan çıkartılmalıdır.

$$R_2 = R_0 + U_e + U_t - U_c$$

d) *Kıvılcım boşluğu*: Kalıp boşlukları genellikle elektro erozyon makineleri kullanılarak imal edilmektedir. İmalat sırasında erozyon cihazının kullandığı elektrot çapına göre meydana gelen kıvılcım nedeniyle kalıp yarıçapı ile son yarıçap arasında kıvılcım boşluğu (G) oluşur. Bu miktar ilk yarıçaptan çıkartılmalıdır.

$$R_2 = R_0 + U_e + U_t - U_c - G$$



Şekil 12. Kalıp Geometrisi Boyut Düzeltme Faktörleri

Kalıp iç geometrisi ve sıkma halkasının ölçülerinin belirlenmesi de kalıp tasarımında çok önemli bir yere sahiptir. Bu çalışmada Lamé

denklemlerinden [13] yararlanılarak Şekil 13'teki ölçüler parametrik hale getirilmiştir.

$$b = \frac{a}{Q_1}$$

$$c = \frac{a}{Q}$$

$$Q = Q_1 \cdot Q_2$$

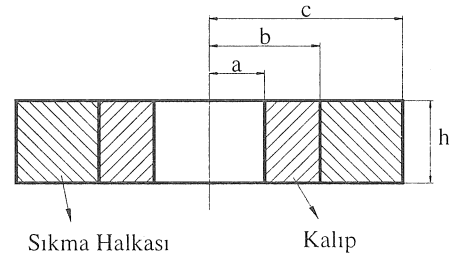
$$Q_2 = Q_1 \cdot \sqrt{K_1}$$

$$Q_1 = \sqrt{\frac{1}{2} \left(1 + \frac{1}{K_1} \right) - PP}$$

$$PP = \frac{P_i}{S_{ydie}}$$

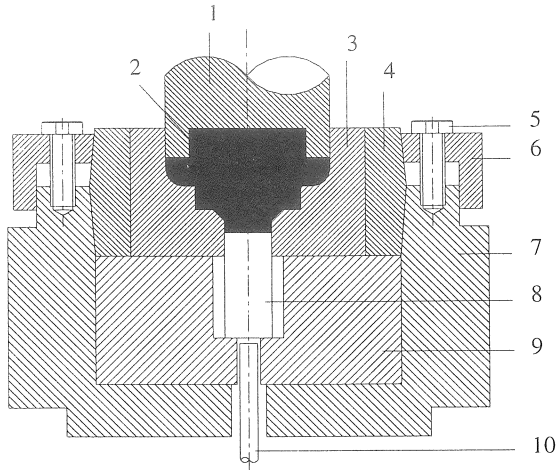
$$K_1 = \frac{S_{yhalka}}{S_{ykal}}$$

a = Kalıp iç yarıçapı
b = Kalıp dış yarıçapı
c = Sıkma halkası dış yarıçapı
 P_i = İç basınç



Şekil 13. Kalıp ve Sıkma Halkası

Kalıp geometrisi 10 ana parçadan meydana gelmektedir (Şekil 14). Şekil 14'teki ana kalıp parçalarından zımba, tek bir blok halinde gösterilmiş olup detayları verilmemiştir. Zımba, kalıp boşluğunun üst kısmını oluşturmaktadır. Ürün geometrisinin üst yüzeyine göre zımba düz bir yüzeye sahip olabileceği gibi ürün geometrisindeki bölüm çizgisinin (parting line) ürünün en üst yüzeyi olmaması durumunda şekilli de olabilir. Şekil 14'te bölüm çizgisinin üst yüzeyde olmadığı ve dolayısıyla ürüne verilecek şeklin bir kısmının zımba yardımıyla verildiği görülmektedir.

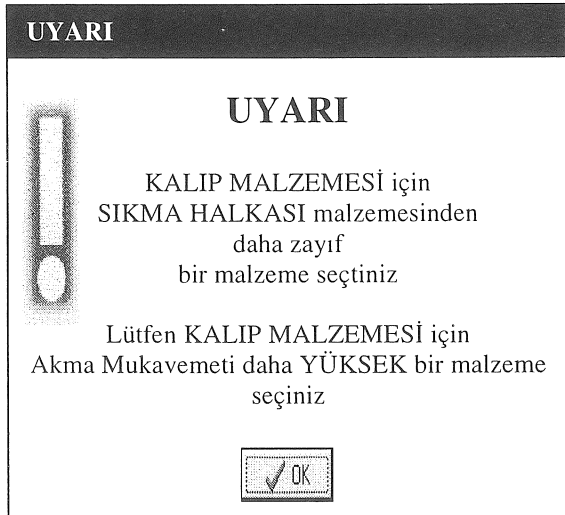


Şekil 14. Ana Kalıp Parçaları

1. Zimba 2. İş parçası 3. Kalıp 4. Sıkma Halkası 5. Cıvatalar 6. Kalıp tutma halkası 7. Kalıp yatağı 8. Alt zimba 9. Alt tabla 10. İtici

Kalıp iç boşluğu ve sıkma halkasına ait boyutlandırma yukarıda verilmiştir. Kalıp iç boşluğu imal edilirken dikkate alınması gereken faktörler yine yukarıda ifade edilmiştir. Kalıp ve sıkma halkası için seçilecek malzemenin de boyutların belirlenmesinde büyük önemi vardır.

Kalıp malzemesinin mukavemetinin, sıkma halkasının mukavemetinden daha fazla veya en azından eşit seçilmesi gerekir. Kullanıcının yanlış malzeme seçmesi durumunda geliştirilen uzman sistem gerekli uyarıyı yapmaktadır (Şekil 15).

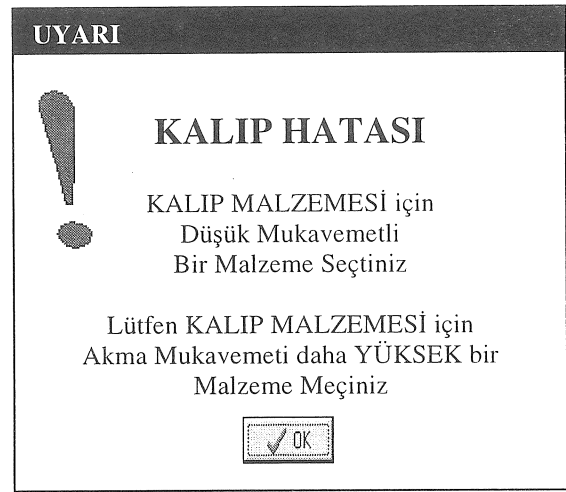


Şekil 15. "Malzeme Seçim Hatası" Ekranı

Aynı şekilde, ürünü dövme yoluyla elde etmek için gerekli kalıp malzemesinin mukavemeti düşük bir malzemeden seçilmesi durumunda yine sistem gerekli uyarıyı yapmaktadır (Şekil 16).

Şekil 14'te görülen ana kalıp parçalarından alt zimba, dövme sonrasında iş parçasını kalıptan çıkarmak ve oluşan yağlayıcı artıkları kolaylıkla dışarıya alabilmek için kullanılmaktadır. Ayrıca, ürünün alt kısmına şekil vermek gerektiğinde de alt zimbadan yararlanılmaktadır.

Ana parçalardan olan kalıp, en önemli elemanlardan birisidir. Dövme sırasında kalıp, dövme yükü, sürtünme ve sıcaklık etkisinde kaldığından kalıp malzemesi de bu şartlara uygunluk gösterecek bir malzeme olmalıdır. Dövme yükü nedeniyle oluşan iç basınca karşı mukavemeti artırmak için bir yada birden fazla sıkma halkası kullanılabilir.



Şekil 16. "Kalıp Malzemesi Hata" Ekranı

SONUÇ

Bu çalışma ile kapalı kalıpta dövme yaparak nete yakın şekilli aksenal simetrik ürünlerin elde edilmesine yönelik bir uzman sistem geliştirilmiştir. Makalenin hacmi göz önüne alınarak bu çalışmada kullanılan hesaplamalara ilişkin detaylar verilmemiş, detaylar için ilgili kaynaklara atıfta bulunularak sadece tasarım için gerekli faktörler açıklanmıştır. Oluşturulan bilgi tabanı ile dövme kalıplarının tasarımında uzman olmayan kişilere kullanım kolaylığı sağlanmış ve yanlış yapılabilecek seçimlere karşı uyarı mekanizmaları konulmuştur.

Sisteme girilmesi gereken ilk veri bitmiş ürünün geometrisidir. Genellikle ticari olarak en yaygın CAD programlarında birisi olan AutoCAD ürün geometrisini oluşturmakta kullanılabilir. Ürün geometrisinin algılanabilmesi için CAD dosyası DXF formatına çevrilmektedir.

İstenildiği takdirde Uzman sistem menüsü kullanıcıya geometrik tüm verileri tablo halinde sunabilmektedir. Sistem kural tabanlı olduğundan, bütün çizgi ve yayların değerlendirilebilmesi için gerek çizim nesnelere gerekse de nesnelere çizim sırası belirli kurallar zincirine bağlanmıştır. Bütün işlemler geliştirilen bir modül sayesinde yapıldığından, CAD dosyasının nasıl oluşturulduğunun sistem açısından önemi kalmamaktadır.

Bir sonraki aşamada bitmiş ürün geometrisinin kapalı kalıpta dövülüp dövülemeyeceği kontrol edilmektedir. Eğer dövülemez bölgeler varsa, geliştirilen kodlama modülü sayesinde bu bölgeler tanımlanmakta ve dövülebilir geometri oluşturulmaktadır. Her bir çizgi ve yay çeşidine göre oluşabilecek dövülemez alanlar için pek çok alternatif değerlendirilerek bunlara ilişkin bütün kurallar uzman sistem hafızasına konulmuştur. Dövülebilir geometri kullanıcıya sunulduğunda sistem, NASIL-NİÇİN sorularına ilgili kuralı çalıştırarak cevap verebilmektedir.

Kalıp tasarımının en önemli unsurlarından birisi de dövme yükünün bilinmesidir. Bu çalışmada üst sınır teorisi kullanılmıştır. Ürün geometrisi, metal akışının birbirine kesintisiz geçebilecek şekilde olabilmesi için yeni bir alanlara bölme yöntemi geliştirilmiştir. Böylelikle, işlem kolaylığı sağlandığı gibi, sürtünmeden kaynaklanan yükün ve toplam dövme yükünün gerçeğe daha yakın bulunması sağlanmıştır.

Kalıp ve sıkma halkalarının malzemesinin seçimi için çok geniş bir malzeme veritabanı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veritabanı uzman sistem mantığı içerisinde hareket etmektedir. Dolayısıyla sadece bu çalışmada değil, malzeme seçimi gerektiren tüm çalışmalarda kullanılacak bir yapıya sahiptir. Meydana gelen yük ve gerilim değerlerine göre en uygun kalıp malzemesinin seçilmesi bu veritabanı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kullanıcının yanlış bir seçim yapması halinde ise uyarı mekanizması devreye girmektedir.

Kalıp montajını gösteren sonuç ekranında ise tasarıma ilişkin bütün bilgileri görülebilmektedir. Ayrıca filtreler sayesinde ana kalıp parçalarından sadece bir yada birkaçını görüntülemek ve bunların geometrik bilgilerini görebilmek mümkündür.

AN EXPERT SYSTEM APPLICATION FOR AXISYMMETRIC FORGING DIE DESIGN

In this study, an expert system has been developed for axisymmetric forging die design. For this aim, special inference engine has been developed by using forward chaining method in C++ language. This study has knowledge base structure in general

and rule base in particular. AutoCAD is used as a graphical environment. AutoCAD drawing is converted into DXF file and all coordinates related to drawing are recorded into database. Forgeability control of the part is carried out and then forging load is calculated. Developed program, determines the required dimensions of the die insert and shrink ring diameters by considering the forging load and selected die material. Finally, 2D drawing of all die components and punch are presented to the user.

Key Words: Expert System, Forging, Die Design

KAYNAKÇA

1. Turban, E., "Decision Support and Expert Systems", Macmillan Pub., USA, 1990.
2. Huang, S.H., Xing, H., Wang, G., "Intelligent Classification of the Drop Hammer Forming Process Method", International Journal of Advanced Manufacturing Technology, V: 18, Issue 2 Pages 89-97, 2001.
3. Yılmaz, N. F. "An Expert System for Near Net Shape Axisymmetric Forging Die Design", Doktora tezi, Gaziantep Üniversitesi, 2002.
4. Feigenbaum, E., "Knowledge Engineering in the 1980's", Department of Computer Science, Stanford University, CA, 1982.
5. Aslan, E., "Uzman Sistem Yardımıyla Son İşlemci Tasarımı", Doktora tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 1995.
6. KES PS El Kitabı, SoftwareArchitecture and Engineering Inc., 1990.
7. Huang, S.H. and Zhang, H.C., "Neural-Expert Hybrid Approach for Intelligent Manufacturing: A survey", Computers in Industry, V:26, 1995.
8. Luce, T., Using VP-Expert in Business, McGraw-Hill, Watsonville, 1992.
9. Ozkan, M.T., Gulesin M., "Uzman Sistem Yaklaşımı ile Cıvata ve Dişli Çark Seçimi", Turk. J. Engin. Environ. Sci. 25, 169-177, Tubitak, 2001.
10. Yılmaz, N.F., Eyercioğlu, Ö., "Application of UBET in the Prediction of Forging Load for Axisymmetric Forging", Int. J. Advanced Manufacturing Systems, V.6, I.1, 1-11, 2003.
11. Tang, J., OH, S., Altan, T., Miller, R. A Knowledge Based Approach to Automate Forging Design, J. Mater. Shaping Technology, p 7-17. (1988).
12. Lange, K. Handbook of Metal Forming, McGraw Hill. (1985).
13. Kim, H., S., Im, Y.,T. Expert System for Multi-Stage Cold-Forging Process Design with a Re-designed Algorithm, Journal of Material Processing Technology. V.54, 271-285. (1995).

14. Eyercioğlu, O. Developments and Performance Analyses of Precision Forged Spur Gears. *Ph.D. Thesis*, University of Birmingham. (1995).
15. Sadeghi, M.H. Precision Forging Axisymmetric Shapes, Straight and Helical Spur Gears. Ph.D. Thesis, University of Birmingham. (1989).
16. Şenalp, Z.A., Kaftanoğlu, B., Metal Şekillendirme Alanında kullanılan Çözüm Yöntemleri, Makine Tasarım ve İmalat Dergisi, C:3, S:5, (2000).
17. Lee, J.H., Kim, Y.H., Bae, W.B. A Study on Flash and Flashless-Precision Forging by the Upper Bound Elemental Technique. *Journal of Materials Processing Technology*, V.72. (1997).
18. Lin, Y.T., Wang, J.P. A new Upper Bound Elemental Technique Approach to Axisymmetric Metal Forming Processes. *Int. Journal of Machine Tools Manufacture*, V.33, N.2. (1993).
19. Oyekanmi, B.O., Bramley, A.N. Osman, F.H. The Validation of the Upper Bound Elemental Technique (UBET) in the Prediction of Strain Distributions in Forgings. *Journal of Materials Processing Technology*, V.30. (1992).
20. Bramley, A.N. UBET and TEUBA: Fast Methods for Forging Simulation and Preform Design. *Journal of Materials Processing Technology*, V.116. (2001).
21. Mielnik, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. McGraw-Hill, Inc. (1991).

Kemal Çalışkan
Mak. Yük. Müh.

İlhan Konukseven
Y. Doç. Dr.

Y. Samim Ünlüsoy
Prof. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
06531 ANKARA

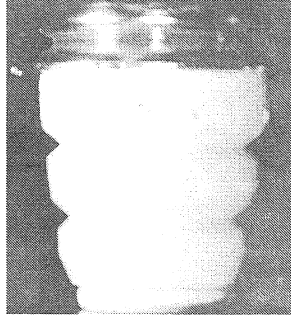
Elastik Süspansiyon Tamponları için Bilgisayar Destekli Tasarım Yöntemi

Bu çalışmada, gözenekli elastomerden üretilen süspansiyon tamponları için sonlu elemanlar analizinin etkin biçimde kullanıldığı bir tasarım yöntemi sunulmaktadır. Tampon tasarımında amaç, tampondan istenen bir yük-yol eğrisi elde etmek üzere tampon ve kapak şekilleri ile tampon malzemesinin belirlenmesidir. Kullanılan elastomer malzemenin hiperelastik özellikleri ve tamponun maruz kaldığı yüksek deformasyon nedeniyle bilgisayar ortamında gerçekleştirilen tasarım analizlerinde zorluklar yaşanmaktadır. Bilgisayar ortamında tasarımların gerçeğe yakın modellerinin elde edilebilmesi için; malzeme testlerinin yapılması, malzeme testi sonuçları kullanılarak matematiksel malzeme modeli katsayılarının bulunması, katsayıların gerçek parçalar üzerinde yapılacak deneylerle doğrulanması ve doğrulanan katsayıları kullanarak tamponun sonlu elemanlar analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Süspansiyon tamponları, Elastomer, Hiperelastik, Sonlu elemanlar analizi, Malzeme testi

GİRİŞ

Süspansiyon tamponları, bozuk yol yüzeylerinde tekerleklerin aşırı yer değiştirmesi durumunda süspansiyon yayına yardımcı olarak süspansiyon elemanları ile araç şasisinin çarpışmasını engelleyen parçalardır (Şekil-1).



Şekil 1 - Süspansiyon tamponu

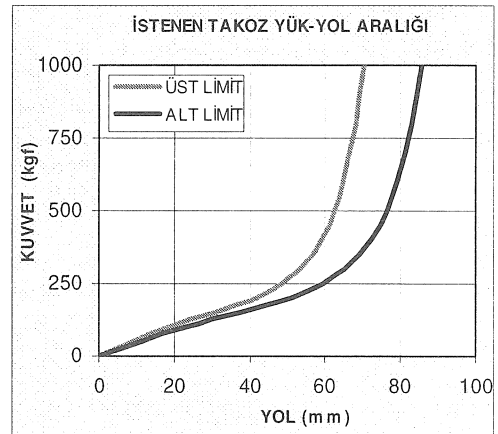
Süspansiyon tamponları belirli bir yük-yol eğrisini verecek şekilde tasarlanmaktadır. Süspansiyon tamponunun geleneksel deneme-yenilme yöntemiyle tasarımı, tasarım süresi, maliyeti ve başarısı konusunda olumsuzluklar yaratmaktadır. Tasarım sürecinde yaşanan bu olumsuzlukları en aza indirmek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilecek bilgisayar destekli tasarım analizlerinden yararlanılmasının gerekli olduğu görülmektedir. Ancak, tampon üretiminde kullanılan elastomer malzemenin hiperelastik özellikte olması ve tamponun maruz kaldığı deformasyon miktarının çok yüksek olması, tamponun sonlu elemanlar analizini zorlaştıran hususlardır.

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Bu makalede, süspansiyon tamponunun sonlu elemanlar analizini gerçeğe yakın sonuçlar verecek şekilde gerçekleştirmek için yapılan çalışmalar aktarılmaktadır. Tamponun sonlu elemanlar analizleri için Msc.MARC/MENTAT [1] programı kullanılmıştır.

TASARIMIN AMACI VE TASARIM PARAMETRELERİ

Süspansiyon tamponu tasarımında amaç, yük-yol eğrisi Şekil-2'de örneği verilen alt ve üst limitler arasında yer alan bir tampon geliştirmektir. İstenen yük-yol eğrisini elde etmek için değiştirilebilecek tasarım parametreleri tamponun ve alt-üst kapakların şekilleri ile tampon üretiminde kullanılacak malzemenin yoğunluğudur. Bu çalışmada gerçekleştirilen tampon tasarımına, alt ve üst kapakların dayanım analizleri ile tamponun yorulma analizi dahil edilmemiştir.



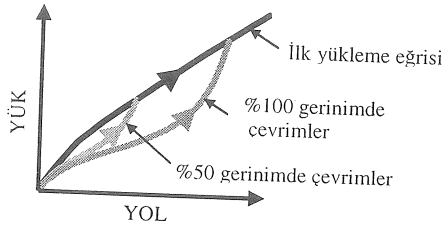
Şekil 2 - Yük-yol eğrilerinin alt ve üst limitlerini belirten tipik bir örnek

Cilt 8, Sayı 1, Mayıs 2006 / 11

HİPERELASTİK MALZEME MODELLERİ

Hiperelastik elastomerlerin kendine özgü bazı mekanik özellikleri vardır:

- Elastik gerinim limitleri oldukça yüksektir.
- Gerilme-gerinim ilişkisi doğrusal değildir.
- Bazı elastomerler hemen hiç sıkışmazken bazıları çok fazla sıkışabilmektedirler.
- Hiperelastik elastomerlerin yük altındaki davranışları yüklemenin yönü, hızı ve büyüklüğü (Şekil-3), daha önce maruz kalınan yüklemelerin sayısı ve büyüklüğü ve ortam sıcaklığı gibi bir çok faktörden etkilenmektedir [2].



Şekil 3 - Yük miktarının yük-yol eğrisi üzerindeki etkisi

Hiperelastik malzemelerinin elastikiyet özelliklerinin açıklanmasına yönelik birçok matematiksel model bulunmaktadır. Bu modeller temel olarak gerilme-gerinim ilişkisini malzemeye özel katsayılar içeren Gerinim Enerjisi Fonksiyonu (Strain Energy Function) yardımıyla ifade etmektedir. Bu fonksiyonun esneme oranına göre türevi alındığında mühendislik gerilmesini vermektedir. Literatürde varolan matematiksel hiperelastik malzeme modelleri, hacim sabitliğine dayanan ve hacimsel sıkıştırılabilirliğe izin veren modeller olarak iki gruba ayrılabilir. Hacimsel sıkıştırılabilirliğe izin veren iki model ve bu modellere ait gerinim enerjisi fonksiyonları aşağıda verilmiştir [3].

i. Ogden Modeli

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} \left[J^{-\frac{\alpha_n}{3}} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n}) - 3 \right] + 4.5K(J^{1/3} - 1)^2$$

ii. Ogden Köpük Modeli

$$W = \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\alpha_n} (\lambda_1^{\alpha_n} + \lambda_2^{\alpha_n} + \lambda_3^{\alpha_n} - 3) + \sum_{n=1}^N \frac{\mu_n}{\beta_n} (1 - J^{\beta_n})$$

W: Gerinim enerjisi

N: Model derecesi

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: Asal esneme oranları

J = $\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$: Hacim oranı

K: Bulk modülü

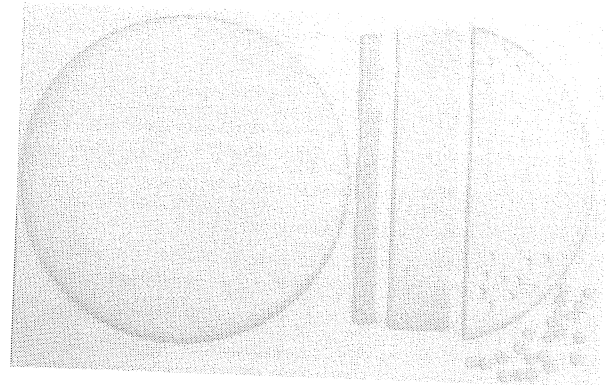
μ_n, α_n, β_n : Malzeme katsayıları

Süspansiyon tamponu gözenekli elastomer malzemeden imal edilmektedir ve yüksek oranda sıkıştırılabilir özelliktedir. Bu nedenle, analizler için yalnız küçük hacim değişimlerine izin veren Ogden modeli yerine "hyperfoam model" olarak da adlandırılan Ogden Köpük modelinin kullanılması uygun bulunmuştur.

Uygun matematiksel malzeme modelini tespit ettikten sonra, elastik tampon tasarımının en zor aşaması olan malzemeye ait model katsayılarının (μ_n, α_n, β_n) belirlenmesi gerekmektedir. Üretimle ilgili bir çok faktör elastomerlerin mekanik özellikleri üzerine etkili olmaktadır. Kullanılan karışım, malzemenin yoğunluğu, pişirme süresi, soğuma süresi vs. gibi birçok etken malzeme özellikleri üzerinde yüksek etkiye sahiptir. Bu nedenle, literatürde elastomerlere ait matematiksel malzeme model katsayıları kolay bulunmamaktadır. Herhangi bir elastomer malzemenin malzeme katsayılarının temini için malzemenin belirli deformasyonlar altında davranışı deneysel olarak incelenmeli ve eğri uydurma (curve fitting) uygulamaları ile aynı davranışı matematiksel olarak simgeleyecek katsayılar tespit edilmelidir. Bu çalışmada, belirli bir yoğunluktaki gözenekli elastomer için malzeme model katsayıları tespit edilmiştir.

MATEMATİKSEL MODEL KATSAYILARININ TEMİNİ İÇİN GERÇEKLEŞTİRİLEN TESTLER

Malzeme testlerinde kullanılacak tüm numunelerinin aynı levhalardan kesilerek çıkarılması ve numunelerin döküm yüzeylerinden uzak noktalardan alınması gerekmektedir [4]. Bu çalışmada kullanılan numuneler 2mm kalınlığında 150mm çapında dairesel levhalardan çıkartılmıştır (Şekil-4). Dairesel levhalar tornada hazırlandığı için numunelerin döküm yüzeylerinden uzak noktalardan alınması koşulu sağlanmıştır.



Şekil 4 - Dairesel levhalardan çıkarılan deney numuneleri

Malzeme testleri ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü'nde bulunan 20kN kapasiteli Zwick Z020 test cihazında yapılmıştır.

Malzeme deneyleri yapılırken şu noktalara dikkat edilmiştir:

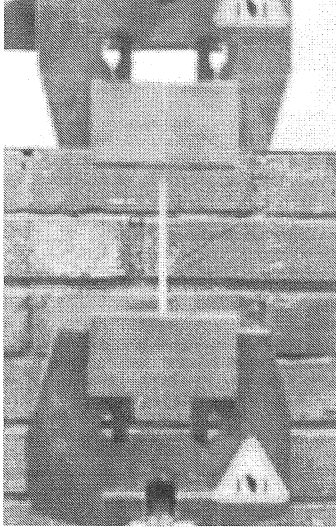
- Yükleme gerçek tamponun test edileceği hızlarda yapılmıştır.

- Yükleme miktarlarına gerçek tamponun maruz kalacağı gerinim büyüklükleri düşünülerek karar verilmiştir.

- Yükleme dört çevrim halinde yapılmış ve deney verisi olarak dördüncü çevrime ait yükleme eğrisi alınmıştır. Bunun nedeni yükleme eğrilerinin dört çevrimde yeterli kararlılığa ulaşması ve gerçek tamponun dördüncü çevrimde test edilecek olmasıdır.

i. Tek Eksenli Çekme Testi

Bu test için, numuneyi tutan çeneler arasında kalan numune boyu, enin 10 katından büyük olmalıdır [3]. 120mm x 6mm x 2mm boyutlarında bir numune kullanılarak ve çeneler arasında 80mm mesafe bırakarak bu koşul sağlanmıştır (Şekil-5).



Şekil 5 – Basit çekme testi



Şekil 6 - Çekme testi numunesi

Çekme gerinimi video görüntüleri kullanılarak numunenin çenelerden uzak orta noktalarında yapılmış işaretlemeler (Şekil-6) arasındaki mesafenin değişimi ile ölçülmüştür. Aynı şekilde numunenin en ve kalınlığındaki değişim yakın çekim video görüntüleri ile kaydedilmiştir ve görüntülerin bilgisayar ortamında işlenmesiyle alan değişimi bilgisi elde edilmiştir.

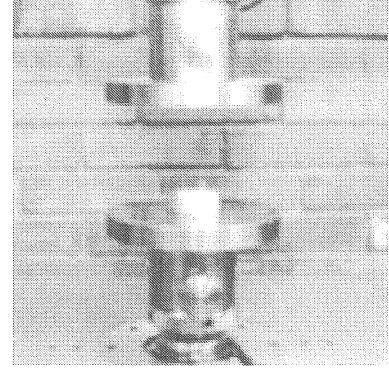
ii. Tek Eksenli Basma Testi

Tek eksenli basma testi, 28.6mm çapında 12.5mm yüksekliğinde [9] silindirik bir düğmenin

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

iki yatay düzlem arasında ezilmesiyle gerçekleştirilmiştir.

Bu test ile elde edilmek istenen gerinim durumu yalın tek eksenli basma gerinimidir. Fakat numune ile yüzeyler arasındaki sürtünme nedeniyle malzeme üzerinde kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Sıkıştırılabilir malzemelerde ise yanal genişleme çok fazla olmayacağı için sürtünme daha az etki yaratmaktadır. Sürtünme etkisini azaltmak amacıyla temas yüzeyleri yağlanmıştır.

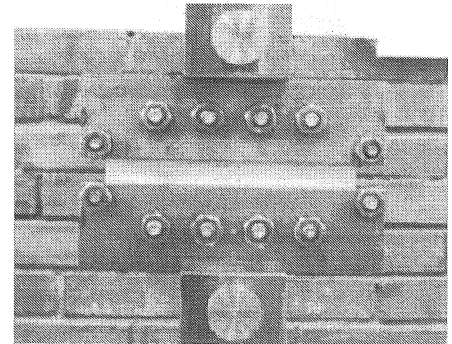


Şekil 7 - Tek eksenli basma testi

Tek eksenli basma testi ile ilgili başka bir dezavantaj ise düğme şeklindeki numunenin diğer numunelerle aynı levhadan kesilemiyor olmasıdır. Bu testte kullanılan parçanın yoğunluk ve üretim şekliyle ilgili farklılıklar nedeniyle diğer testlerde kullanılan malzemeye göre kısmen farklı bir malzeme test edilmektedir. Tüm bu dezavantajlar nedeniyle, özellikle sıkıştırılabilirliği az olan malzemeler için basma testi yerine iki eksenli çekme testi tercih edilebilir. Ancak, bu testin yapılabilmesi için özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır [5].

iii. Düzlemsel Kayma Testi

Bu test için numunenin eni, çekme makinasının çeneleri arasında kalan numune boyunun 10 katından büyük olmalıdır [7]. Bu çalışmada 150mm x 35mm x 2mm boyutlarında bir numune kullanılarak ve çeneler arasında 15 mm mesafe bırakarak bu koşul sağlanmıştır (Şekil-8).



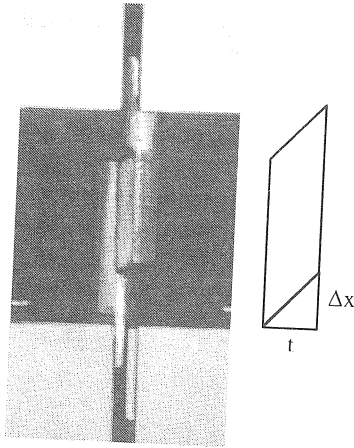
Şekil 8 - Düzlemsel kayma testi

Şekil 9 - Düzlemsel kayma numunesi

İlk bakışta basit çekme testinin geniş bir plakayla uygulanmış hali olarak görülen bu testte, parça eninin boyuna göre çok daha uzun olması nedeni ile yük altında numunenin eninde ihmal edilebilecek kadar çok küçük bir değişim olmaktadır. Buna bağlı olarak numune üzerinde yalın kayma gerinimi oluşmaktadır [5]. Gerinim ölçümü için orta kısımda yapılmış işaretlemeler (Şekil-9) arası mesafenin değişimi video ile kaydedilmiş ve gerekli ölçümler bu video görüntüleri üzerinden alınmıştır.

iv. Basit Kayma Testi

Bu test, iki paralel yüzey arasına 30mm x 25mm x 4mm boyutlarında bir numunenin yapıştırılması ve yüzeylerin birbirine yaklaştırılmadan hareket ettirilmesi ile gerçekleştirilmiştir.

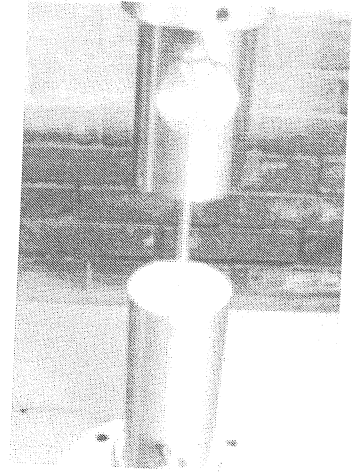


Şekil 10 - Basit kayma testi ve numunedeki meydana gelen deformasyon

Gerinim ve gerilme değerleri test cihazı üzerinden okunan kuvvet ve yer değiştirme bilgileri kullanılarak elde edilmiştir.

v. Hacim Sıkıştırma Testi

Hacimsel sıkıştırma testi, hacimsel genişlemenin büyük oranda engellendiği uygulamalarda basınç-hacim ilişkisinin bulunmasında kullanılır. Test, 6mm çapında ve 2mm yüksekliğinde 18 adet yuvarlak parçanın bir delik içerisine yerleştirilip sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sürtünmenin sonuca etkisini azaltmak için parçalar arasında ve yüzeylerinde yağlama yapılmıştır.



Şekil 11 - Hacim testi

MALZEME TEST SONUÇLARINDAN MODEL KATSAYILARININ ELDE EDİLMESİ

Malzeme modeli katsayılarının elde edilmesi için ilk olarak deneylerden alınan dördüncü çevrime ait yükleme eğrileri üzerine sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmalıdır [3]:

i. Kalıcı deformasyonla oluşan gerinim miktarı (ϵ_{offset}) kaydedilir ve bu miktar tüm gerinim değerlerinden çıkartılır.

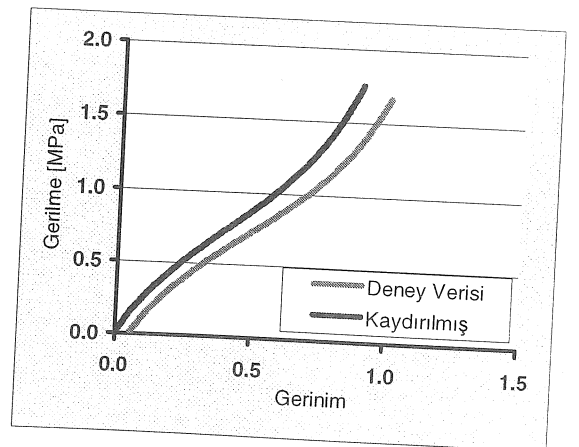
ii. Kalıcı gerinim nedeniyle ölçek uzunluğunda meydana gelen değişim göz önüne alınarak tüm gerinimler ($1 + \epsilon_{offset}$) değerine bölünür.

$$\epsilon = (\epsilon' - \epsilon_{offset}) / (1 + \epsilon_{offset})$$

Kesit alanındaki değişim göz önüne alınarak tüm gerilmeler ($1 + \epsilon_{offset}$) değeriyle çarpılır.

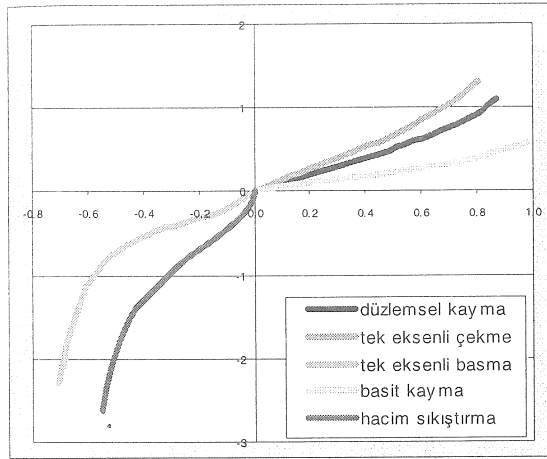
$$\sigma = \sigma' (1 + \epsilon_{offset})$$

iii. Gerilme değeri sıfıra çok yakın olmasına rağmen halen tam sıfır noktasında olmayabilir. Grafik aradaki fark kadar kaydırılarak eğrinin sıfır gerilme-sıfır gerinim noktasından geçmesi sağlanır.



Şekil 12 - Çekme testi dördüncü çevrimine ait yükleme eğrisi ve bu eğrinin kaydırma işlemi sonrası durumu

Bu çalışma kapsamında yapılmış olan 5 deneye ait gerilme gerinim eğrileri Şekil-13'te verilmiştir.



Şekil 13 – Malzeme testi sonuçları

Kaydırma işleminin ardından, eğrilere ait veriler içinden, grafiğin genel formunu yeterli düzeyde temsil edecek şekilde, mümkün olan en az sayıda veri noktası seçilmelidir.

Buna ek olarak hacim testi verisinin kullanımı ile ilgili olarak Msc.Marc/Mentat programında tanımlandığı şekilde gerinim değerleri üçe bölünmüştür [3].

Malzeme model katsayılarının hesabı için deney sonuçlarının işlenmesiyle elde edilen veri noktaları kullanılarak eğri uydurma işlemi yapılmalıdır. Bu konuda Msc.Marc/Mentat programından yararlanılmıştır. Program "downhill-simplex" metodunu kullanarak girilen deney eğrileriyle çıkışacak malzeme model katsayılarını hesaplamaktadır.

Eğri uydurma işlemi tamamen matematiksel bir yaklaşım olduğu için ortaya çıkan malzeme modelinin gerçek malzemeyi tüm deformasyon türleri ve büyüklükleri için tam olarak temsil etmesi beklenemez [7]. Bu nedenle eğri uydurma sonucu ortaya çıkan malzeme modeliyle ilgili aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir :

- Malzeme modeli Drucker Kararlılık Kuralı'nı [8] ihlal etmemelidir. Bu kural, analizde kullanılabilecek kararlı bir malzeme modelinin tüm deformasyon türlerinde $d\sigma \cdot d\epsilon > 0$ bağıntısını sağlanması gerektiğini, yani gerilme-gerinim grafiğinde yerel maksimum veya minimumlar bulunmaması gerektiğini ifade eder.

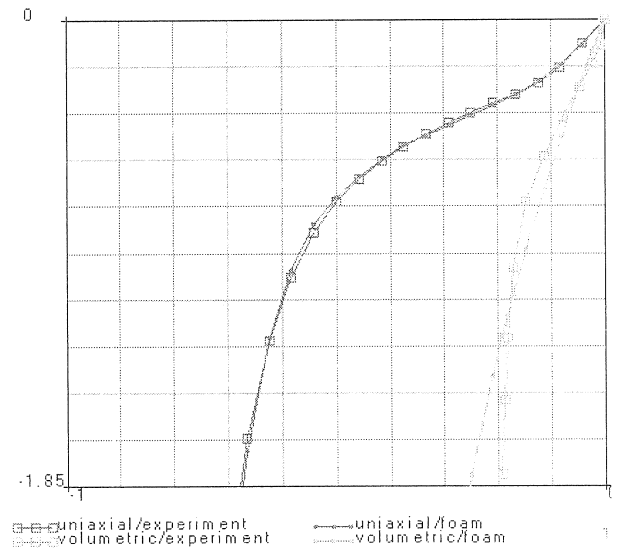
- Model, deney verisi girilen gerinim aralığının dışında ve deney verisi girilmemiş deformasyon türlerinde de kabul edilebilir davranış sergilememelidir.

Malzeme modeli olarak, tampon üretiminde kullanılan gözenekli elastomerin sıkışabilirlik özelliğini modelleyebilecek FOAM modeli tercih edilmiştir. Yük-yol eğrisindeki kıvrımları yakalayabilmek amacıyla üçüncü dereceden (N=3) bir model kullanılmıştır. Uygun bir malzeme modeli elde etmek için eğri uydurma işlemi çeşitli veri kombinasyonları kullanılarak tekrarlanmış ve ortaya çıkan katsayılar kullanılarak tamponun sonlu elemanlar analizleri tekrarlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda şu iki önemli sonuca ulaşılmıştır:

- Basma ve hacim sıkıştırma testleriyle en iyi örtüşmenin yakalandığı durumlarda tampon analiz sonuçlarındaki başarı artmaktadır. Yani sözkonusu uygulama için en önemli deney sonuçları bu testlerden elde edilmektedir.

- Eğri uydurma işleminde diğer deney sonuçlarının da kullanıldığı durumlarda basma testi ve hacim testi deneysel sonuçlarıyla örtüşme azalmaktadır.

Bu nedenle, tampon analizi için malzeme modeli oluşturulmasında, öncelikle basma ve hacim sıkıştırma testleri kullanılmıştır. Eğri uydurma işlemi sonucu elde edilen malzeme modelinin basma ve hacim sıkıştırma deformasyonlarındaki davranışı aşağıdaki gibidir.

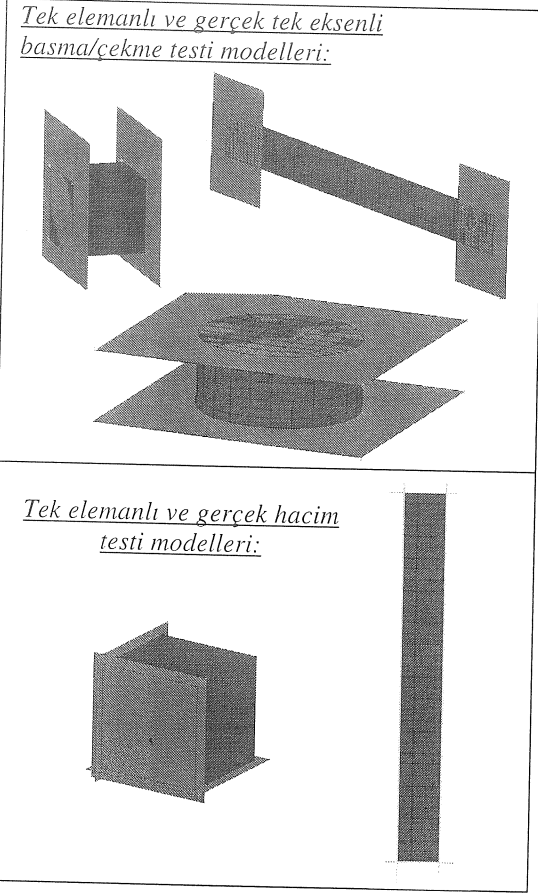


Şekil 14 - Malzeme modelinin kullanılan deformasyon modlarında davranışı

4.2.2 Katsayıların Deney-Analiz Karşılaştırmaları ile Sınanması

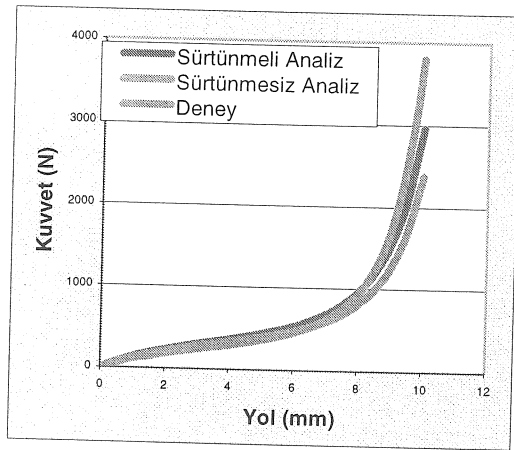
Elde edilen malzeme modeli katsayıları uygulanan malzeme testlerinin tek elemanlı ve gerçek deney sonlu eleman modelleriyle doğrulanmalıdır. Gerçek deneyler aşağıda şekilleri verilen sonlu eleman modelleri tek elemanlı ve tam ölçekli olarak modellenmiş ve analizleri yapılmıştır. Eğri uydurma işlemi yalnız düğme basma ve hacim testleriyle yapıldığı için diğer deneyler için çok yakın sonuçlar

elde etmek mümkün değildir. Çekme ve kayma deneyleri için yapılan analizlerde deney sonuçlarından daha yüksek gerilmeler elde edilmiştir. Deneylerin sonlu elemanlar analizleri için kullanılan sonlu eleman modelleri şunlardır:

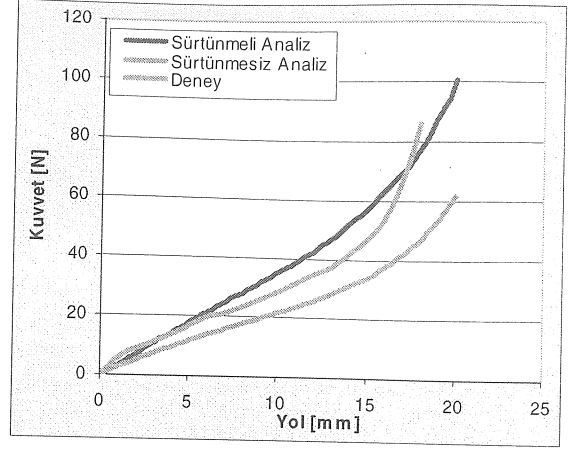


Şekil 15 - Deneylerin sonlu eleman modelleri

Basma ve hacim testlerinin sonlu elemanlar analizleri ile deney sonuçlarının karşılaştırması aşağıda verilmiştir:



Şekil 16 - Basma testi analiz ve deney sonuçları



Şekil 17 - Hacim testi analiz ve deney sonuçları

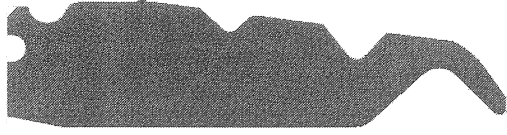
Her iki deneyde de sürtünme etkisi göz önüne alınarak yapılan sonlu eleman analizlerinin deney sonuçlarına daha yakın olduğu Şekil 16 ve 17'de görülmektedir. Sürtünme özellikle hacim sıkıştırma deneyinde sonuçları önemli oranda etkilemektedir. Eğri çakıştırma işleminde kullanılacak deney verilerinde ise sürtünme etkisi bulunmaması gerekmektedir. Bunu sağlamak için iki farklı yol izlenebilir. İlk olarak deneylerdeki sürtünme etkisi ortadan kaldırmak amacıyla, basma testi yerine aynı deformasyonu sağlayan çift eksenli çekme testi kullanılabilir [6]. Hacim testinde sürtünme etkisinden kurtulmak içinse hidrostatik hacim testi tercih edilmelidir [3]. Fakat bu testler için özel aparatlar ve ölçüm cihazları gerekmektedir. İkinci ve daha kolay olan yöntem ise sürtünme etkisini sonlu eleman analizleri ile tahmin ederek deney sonuçlarından çıkartmaktır. Bu çalışmada ikinci yöntem tercih edilmiştir.

Şekil 16 ve 17 incelendiğinde sürtüneli ve sürtünmesiz sonlu eleman analizleri arasında basma testinde yaklaşık %10, hacim testinde ise yaklaşık %40 oranında sürtünme etkisi görülmektedir. Bu saptamaların ışığında, eğri uydurma işleminde deney verilerindeki gerilme değerleri belirtilen oranlarda azaltılarak kullanılmıştır.

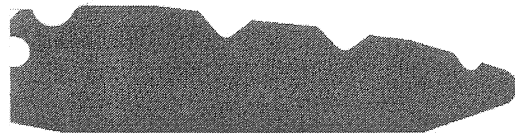
ANALİZ SONUÇLARININ PROTOTİPLER ÜZERİNDE DOĞRULANMASI

Gerçek parça testleri, malzeme testlerinde kullanılan malzeme ile aynı yoğunlukta malzemeden dökülmüş olan iki tampon üzerinde yapılmıştır. Sonlu eleman analizlerinde eksenel simetrik modeller ile çözüm yapılmıştır. Tamponun sonlu elemanlar ağı üç düğüm noktalı üçgen elemanlarla örülmüştür. Alt ve üst kapaklar rijit gövdeler olarak modellenmişlerdir. Büyük deformasyonlar sonucu sonlu elemanlar ağında meydana gelen bozulmalar nedeniyle ağın belirli aralıklarla ve eleman şekillerindeki bozulma oranına bağlı olarak yeniden örülmesi özelliği (global remeshing) etkin kılınmıştır. Sürtünme modeli olarak

Msc.Marc/Mentat programı içinde bulunan göreceli yer değiştirmeyi (relative displacement) kullanan Coulumb sürtünme modeli kullanılmıştır. Bazı basit testler, benzer çalışmalar ve yapılan analizler neticesinde sürtünme katsayısı olarak tamponla kapaklar arasında 0.4, tamponun kendi kendine temas eden yüzeyleri arasında 0.7 değerleri kullanılması öngörülmüştür.

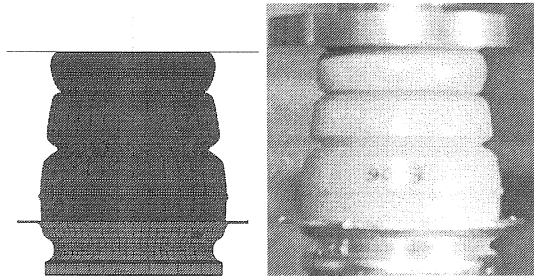


Şekil18 - Tampon A için FEA modeli

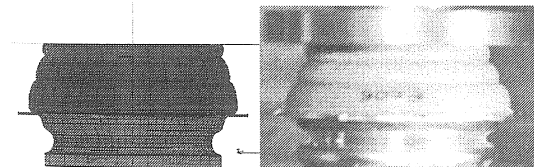


Şekil19 - Tampon B için FEA modeli

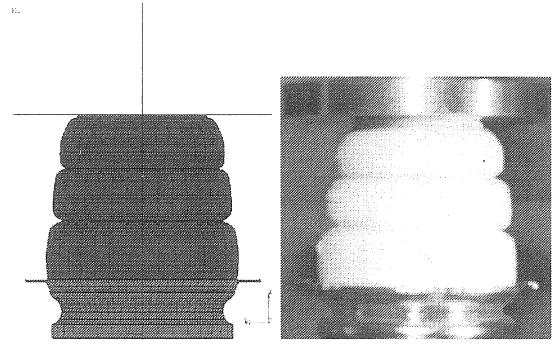
i. Deformasyon Şekillerinin Karşılaştırılması



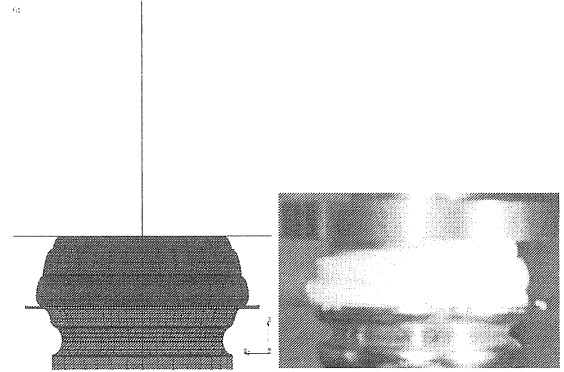
Şekil 20 - Tampon A 40mm deformasyon



Şekil 21 - Tampon A 70mm deformasyon

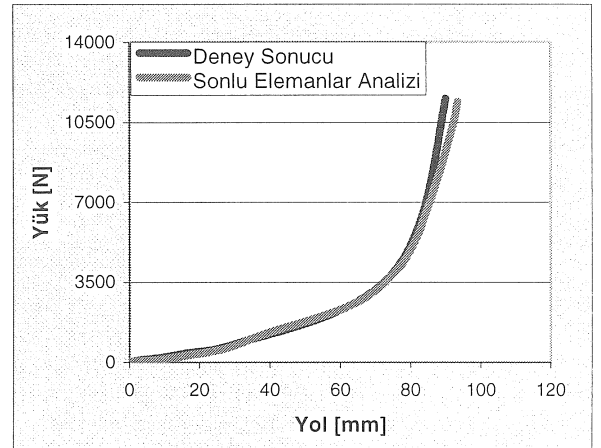


Şekil 22 - Tampon B 40mm deformasyon

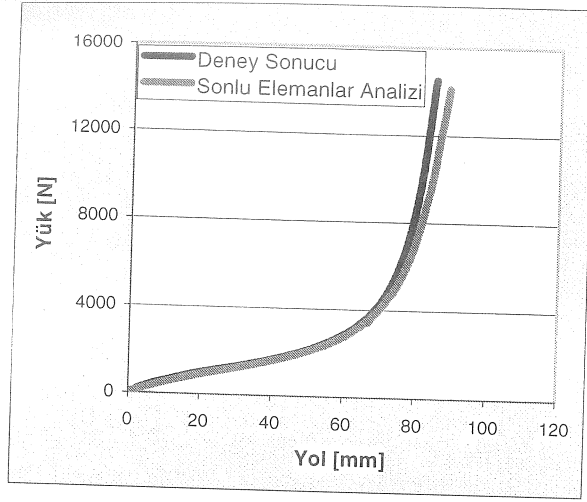


Şekil 23 - Tampon A 80mm deformasyon

ii. Yük-Yol Eğrilerinin Karşılaştırılması



Şekil 24 - Tampon A için analiz ve deney sonuçları



Şekil 25 - Tampon B için analiz ve deney sonuçları

iii. Sonuçların Değerlendirilmesi

Şekil 20-25'in incelenmesi sonucunda aşağıda sonuçlara ulaşılmıştır:

- Her iki tamponun sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar ile gerçek deneylerden elde edilen sonuçlar arasında gerek deformasyon şekilleri gerek yük-yol eğrileri açısından yeterli uyum sağlanmıştır.
- Yalnızca tek eksenli basma ve hacim sıkıştırma testlerinden elde edilen sonuçlar tampon malzemesinin matematik modelini oluşturmada önemli ölçüde etkili olmuştur.
- Her iki analizde de oluşan hatanın karakteristiği aynıdır. Yük-yol eğrisinin son bölümde yaptığı yükseliş gerçekte olduğundan biraz daha geç yakalanmaktadır. Hata karakteristiğinin her iki durum için aynı olması, yapılacak düzeltmelerle herhangi bir parça için hatanın giderilmesi durumunda diğer parçalar içinde doğru sonuçlar alınacağını göstermektedir.

Hatanın oluşmasındaki olası nedenler şunlardır:

- Deney verileri kullanılarak yapılan eğri uydurma işleminde tek eksenli basma deney verisi ile çok yüksek oranda örtüşme sağlanmış, fakat hacim sıkıştırma deney verisi ise tam olarak takip edilememiştir. Özellikle sıkışma oranının arttığı son kısımda meydana gelen sapma tampon analizlerinde meydana gelen sapmaya neden olmaktadır.
- Malzeme deneylerinde önemli oranda sürtünme etkisi mevcuttur ve bu etki sonlu elemanlar analizleriyle yapılan tahminler aracılığıyla ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Fakat sürtünmeden kaynaklanan hataları tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir.

Tampon analizlerinde görülen ve karakteristiği birbirine çok benzeyen bu hatayı gidermek için eğri uydurma işleminde kullanılan

deneylerdeki gerinim düzeyleri, deneylere ait veri noktası sayısı, iterasyon sayısı, hata toleransı parametreleri değiştirilerek örtüşme eniylenmelidir.

SONUÇ

Raporun tümünde verilen bilgiler ile yapılan deney ve analiz çalışmalarına ait sonuçlar değerlendirilerek istenilen özelliklere sahip elastik tampon tasarımı için önerilen yöntemin işlerliği aşağıda özetlenmiştir:

i. Belirli bir yoğunlukta deney numuneleri ile yapılan malzeme testlerinden elde edilen malzeme modeli, yine aynı yoğunlukta malzemeden üretilmiş gerçek parçalarla sınıandıktan sonra aynı malzeme ile üretilmesi düşünülen tampon tasarımlarının sonlu elemanlar analizlerinde güvenle kullanılabilir. Böylece en fazla bir ya da iki prototip üretimiyle istenen karakteristiklere sahip ürün elde edilmesi mümkün olacaktır.

ii. Elastomer malzemelerin sonlu eleman analizleri için, tüm malzeme deneylerinin yapılması ve buna göre malzeme modeli oluşturulması önerilmektedir. Ancak, yalnız basma yükü altında çalışan elastik süspansiyon tamponlarının sonlu elemanlar analizi için basma ve hacim sıkıştırma testlerinin büyük oranda yeterli olduğu bu çalışmada gösterilmiştir.

Bu çalışmada elastomerden üretilen süspansiyon tamponları tasarımı için önerilen yöntemin önemi aşağıda verilmektedir.

- Elastik tampon tasarım süreci önemli ölçüde kısalacak ve tasarımda standardizasyon sağlanacaktır.
- Prototip sayısı azaltılacağı için tasarım maliyeti önemli ölçüde azalacaktır.
- Bilgisayar tasarımında istenen karakteristiklere sahip birden fazla tasarım oluşturularak, maliyeti en az olanı tercih etme olanağı ile özellikle yüksek sayıda üretimin yapılacağı işlerde önemli ekonomik kazanç sağlanması mümkün olacaktır.
- Bilgisayar ortamında yapılan tasarımlara ait sonuçların bir veri bankasında saklanmasıyla oluşacak veritabanı sayesinde yeni tasarım gereksinimlerine kısa sürede cevap verme olanağı doğacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmanın gerçekleşmesindeki destekleri için FKK Güney Oto Lastik Takoz San. ve Tic. A. Ş.'ye teşekkür ederler.

COMPUTER AIDED DESIGN ANALYSIS FOR ELASTIC SUSPENSION JOUNCE BUMPERS

In this paper, a design methodology is presented for elastomer suspension jounce bumpers, in which Finite Element Analysis is used effectively. In design of jounce bumpers, the aim is to find the correct combination for bumper and cap geometries, and

bumper material in order to obtain a given load deflection curve. The hyperelastic properties of the elastomer bumper material and the large deformations reached during bumper operation increase the difficulty level of the design analysis for suspension bumpers. For a successful simulation of bumper deformation, the bumper material must be tested and mathematical model coefficients must be found using the test results. After being justified with analysis and experiments of existing parts, these coefficients can be used in finite element analysis of any bumper design to be made from the tested material.

Keywords: Jounce Bumper, Elastomer, Hyperelasticity, FEA, Material Testing

KAYNAKÇA

1. MSC.MARC MENTAT, Version 2005, MSC Software Corporation
2. Miller K., "Experimental Loading Conditions Used to Implement Hyperelastic and Plastic Material Models", Axel Products Inc. Technical Paper, 2001
3. MSC.Software Corporation, "MAR103 Training Course Notes - Experimental Elastomer Analysis", 2003
4. MSC.Software Corporation, "Nonlinear Finite Element Analysis of Elastomers", Technical Paper, 2000
5. Axel Products Inc., "Testing Elastomers for Hyperelastic Material Models in Finite Element Analysis", Technical Paper, July, 2000
6. Axel Products Inc., "Compression or Biaxial Extension?", Axel Products Inc. Technical Paper, June, 2000
7. Boast D., Coveney VA, "Finite Element Analysis of Elastomers", Professional Engineering Publishing Ltd, London, 1999
8. L. Palgen, D. C. Drucker, "The structure of stress-strain relations in finite elasto-plasticity", International Journal of Solids and Structures, Vol 19, Issue 6, 1983, Sayfa 519-531
9. ASTM Standart No:D575-91

Derin Çekmede Buruşmanın Bilgisayar Destekli Modellenmesi

Mehmet Ali Pişkin
Mak. Yük. Müh.

Aselsan A.Ş.
Ankara

Bilgin Kaftanoğlu
Prof. Dr.

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makine Mühendisliği Bölümü
Ankara

Bu çalışmada sonlu elemanlar metodu kullanılarak derin-çekme işlemlerinde buruşma davranımları elde edilmiştir. Dört nodlu, beş serbestlik derecesine sahip olan bir kabuk elemanı formüle edilmiştir ve Von Mises akma kriteri ile izotropik, elasto-plastik malzeme modeli kullanılmıştır. Geliştirilen yazılım ile bu kabuk elemanını kullanarak parçanın membran davranışlarının yanında bükülme davranışları da elde edilmiştir. Dört farklı eleman boyu ve iki farklı şekil (yuvarlak ve dikdörtgen) için benzeşimler yapılmış ve elde edilen kalınlık ve nod deplasmanı dağılımları ticari bir sonlu eleman programının ve önceden gerçekleştirilmiş deneylerin sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Buruşma, Derin-çekme, Metal Levha Şekillendirme, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Bilgisayar Destekli Metal Şekillendirme

GİRİŞ

Derin-çekme, sac malzeme kullanarak üretim yapmak için kullanılan bir metal şekillendirme metodudur. Derin-çekme işleminde sac, kalıp, zımba ve baskı plakası yardımıyla şekillendirilir. Bu takımların uygun şekilde seçilmesi, işlemin başarısı açısından son derece önemlidir. Son ürünün şekli doğrudan kalıp, zımba ve baskı plakasına bağlıdır [1].

Derin-çekme işlemi beş farklı bölgede incelenmelidir:

- Kalıp ve baskı plakası arasında kalan bölge (flanj)
- Kalıp profili bölgesi
- Kalıp ve zımba arasında kalan bölge
- Zımba profili bölgesi
- Zımba başı bölgesi

Söz konusu edilen bölgelerde değişik hatalar oluşmaktadır. Boyun verme ve yırtılma zımba başı, zımba profili ve zımba ile kalıp arasındaki bölgelerde gerçekleşmektedir. Flanaj bölgesinde ise buruşma oluşur.

Buruşma radyal çekme sonucu oluşur. Flanaj bölgesinde çevresel baskı gerilmesi bulunur. Radyal çekme gerilmesi belirli bir değeri aştığında, çevresel yöndeki baskı gerilmesi çok yükselir ve malzeme bükülür. Bunun sonucu olarak dalgalı bir yapı oluşur [2].

Buruşma istenmeyen bir deformasyondur, dolayısıyla önlenmesi gerekir. Bu amaçla en çok kullanılan iki yöntem baskı plakası uygulaması ve pot çemberi kullanılmasıdır. Baskı plakası uygulamasında iki metod vardır. İlk metotta baskı

plakası ve kalıp arasındaki mesafe sabit tutulur. Bu sayede malzeme kalınlığının sabit tutulması ve dalga oluşumunun önlenmesi sağlanır. Diğer metotta ise baskı plakası aracılığıyla malzemeye bir kuvvet uygulanır. Uygulanacak kuvvetin büyüklüğünün dikkatli bir şekilde seçilmesi gerekmektedir. Buruşmayı önlemek için kullanılan diğer yöntem olan derin-çekme yatağında ise, malzeme, bir erkek takım yardımı ile kalıp üzerindeki bir yataktan akmaya zorlanır. Malzeme yataktan akarken baskı gerilmesi azalır. Yatağın konumu ve derinliğine karar verilerek, malzeme buruşma oluşturacak kritik gerilme değerlerine ulaşmadan çekme işleminin tamamlanması sağlanabilir.

Buruşma oluşumunun öngörülebilmesi derin-çekme işlemi için çok kritik bir konudur. Malzemenin buruşup buruşmayacağını bilmek, üretimde kullanılacak takımların seçimini doğrudan etkiler. Alınan gereksiz önlemler beklenmeyen sonuçlar yaratabilir. Gereğinden fazla baskı plakası kuvveti uygulamak, zımba yükünü artıracak gibi, boyun verme ve yırtılma olasılığını artırır. Ancak buruşma öngörülemediğinden yeteri kadar kuvvet uygulanmaması durumunda, ürün kalitesi düşer, çoğunlukla da parça kabul edilemez nitelikte olur. Dolayısıyla tasarımcının malzemenin buruşma davranışı hakkında bilgi sahibi olması gerekmektedir.

FORMÜLASYON

Deplasman tabanlı sonlu eleman analizinde, bir elemandaki deplasman alanı, elemanın nodlarındaki deplasmanların bir fonksiyonu olarak ifade edilmeye

çalışılır. Eleman üzerindeki bir noktanın deplasman değerini nodlardaki deplasmanlarla ilişkilendiren fonksiyona şekil fonksiyonu adı verilir. Diğer taraftan deplasman bilgisi kullanılarak eleman gerilinleri hesaplanabilir: deplasmanın türevi gerilin değerini verir. Dolayısıyla deplasman ve gerilin parametreleri arasında da bilinen bir ilişki bulunur. Bu ilişki ve kabul edilen şekil fonksiyonları kullanılarak gerilinler ve nod deplasmanları doğrudan ilişkilendirilebilir.

Deplasman tabanlı dinamik-açık sonlu eleman analizi için genel formül şu şekilde verilebilir:

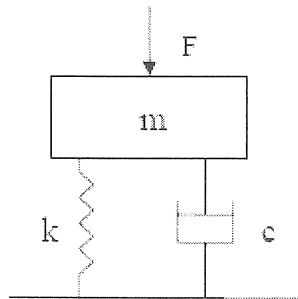
$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{U}} = \mathbf{R}_{\text{ext}} - \mathbf{R}_{\text{int}} \quad (1)$$

Bu formülasyonda \mathbf{M} kütle matrisini, $\ddot{\mathbf{U}}$ deplasmanın zamana göre ikinci türevini, \mathbf{R}_{ext} ve \mathbf{R}_{int} ise sırasıyla dış ve iç kuvvetleri temsil etmektedir. Yukarıdaki formülasyona dinamik bir etki olarak sönümlenme kuvvetleri de eklenebilir. Bu kuvvetler elemanların hızlarıyla orantılıdır. Hızları hesaplamak için deplasman ya da ivmelenme hesaplarındakine benzer ilişkiler kullanılabilir, ancak sönümlenme matrislerini oluşturmak çok karmaşık ve zordur, çünkü sönümlenme özellikleri frekansa bağlıdır. Genel yaklaşım sönümlenme matrisini kütle ve peklik matrislerini kullanarak hesaplamaktır. Rayleigh metodu, kütle ve peklik matrislerinin lineer bir kombinasyonunu kullanır:

$$\mathbf{C} = \alpha\mathbf{K} + \beta\mathbf{M}$$

Bu denklemde α ve β peklik ve kütle orantı sabitleri olarak adlandırılır. Deneylere göre bu sabitlerin değerleri 0.001 ile 0.01 arasında değişir. Buna dayanarak sönümlenme matrisi hesaplamalarda ihmal edilebilir. Bu ihmal analizdeki hesaplama verimini önemli ölçüde artırır. Örneğin hesaplama süresi kısalmır. Bu argümanlar ışığında bu çalışmada sönümlenme etkileri dikkate alınmamıştır.

Dinamik-eksplisit yöntemler dinamik bir problemin çözümünü temel alır. Basit bir kütle-yay-damper sistemi bu metotların temelini açıklamak için kullanılabilir.



Şekil 1. Kütle – yay – damper sistemi

Şekil 1'deki sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibidir.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = f(t) \quad (2)$$

Bu eşitlikte m nesnenin kütlesi, c damperin sönümlenme katsayısı, k yayın pekliği, u , \dot{u} , ve \ddot{u} sırasıyla kütle'nin t anındaki anlık deplasmanı, anlık hızı ve anlık ivmesidir. $f(t)$ dış kuvvetin zaman tabanlı fonksiyonudur.

Hareket denklemi, merkezi fark yöntemi kullanılarak çözülebilir:

$${}^t\ddot{u} = \frac{1}{\Delta t^2} \left({}^{t+\Delta t}u - 2{}^tu + {}^{t-\Delta t}u \right) \quad (3a)$$

$${}^t\dot{u} = \frac{1}{2\Delta t} \left({}^{t+\Delta t}u - {}^{t-\Delta t}u \right) \quad (3b)$$

(3) denklemlerini (2) denklemine yerleştirip yeniden düzenlenirse

$$\left(\frac{m}{\Delta t^2} + \frac{c}{2\Delta t} \right) {}^{t+\Delta t}u = \quad (4)$$

$$f(t) - k{}^tu + \frac{2m}{\Delta t^2} {}^tu - \left(\frac{m}{\Delta t^2} - \frac{c}{2\Delta t} \right) {}^{t-\Delta t}u$$

$t + \Delta t$ anındaki deplasmanların çözümü, t ve $t - \Delta t$ anlarındaki bilinen deplasman konfigürasyonlarına bağlıdır. Bu zaman bölümlenme tasarımına hareket denkleminin dinamik açık integrasyonu denir. Kapalı integrasyon tekniklerinde çözüm, $t + \Delta t$ anındaki bilinmeyen deplasman değerlerine de bağlıdır.

Yukarıdaki çözüm planı deplasman tabanlı sonlu eleman analizinin genel denkleminde de uygulanabilir. Aynı prosedürler (1) denkleminde adapte edilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir [10]:

$$\frac{1}{\Delta t^2} \mathbf{M} {}^{t+\Delta t} \mathbf{U} = \mathbf{R}_{\text{ext}} - \mathbf{R}_{\text{int}} + \frac{2}{\Delta t^2} \mathbf{M} {}^t \mathbf{U} - \frac{1}{\Delta t^2} \mathbf{M} {}^{t-\Delta t} \mathbf{U} \quad (5)$$

Bu denklem bilinen ${}^t\mathbf{U}$ ve ${}^{t-\Delta t}\mathbf{U}$ değerleri kullanılarak, ${}^{t+\Delta t}\mathbf{U}$ için çözülebilir. $t = 0$ anındaki deplasman, hız, iç ve dış kuvvetler bilinmektedir, ancak ilk adımda $t = -\Delta t$ anındaki deplasman değerleri de çözüm için gerekmektedir. Bu bilgi aşağıdaki denklem kullanılarak elde edilebilir [10]:

$${}^{-\Delta t}\mathbf{U} = {}^0\mathbf{U} - \Delta t {}^0\dot{\mathbf{U}} + \frac{\Delta t^2}{2} {}^0\ddot{\mathbf{U}} \quad (6)$$

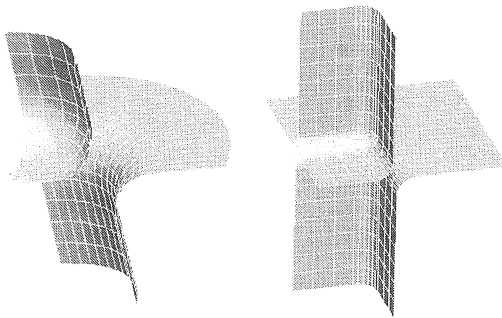
$t = 0$ anındaki ivmeler ise genel denklemin, bu an için çözülmesiyle bulunur:

$$\mathbf{M} {}^0\ddot{\mathbf{U}} = {}^0\mathbf{R}_{\text{ext}} - {}^0\mathbf{R}_{\text{int}} \quad (7)$$

Hesaplama verimliliğini arttırmak amacıyla kütle matrisi yerine diagonal kütle matrisi kullanılabilir. Böylece denklem (5) için faktörizasyon ihtiyacı ortadan kalkar.

ANALİZ

Bu çalışmada dairesel ve kare olmak üzere iki değişik çekme işlemi modellenmiştir. Ayrıca kare çekme işlemi için baskı plakası kullanılarak simülasyonlar da gerçekleştirilmiştir. Baskı plakası kullanılan ve kullanılmayan simülasyonların doğrulaması deney sonuçlarıyla karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca baskı plakası kullanılmayan simülasyonlar, PAM-STAMP programıyla yapılan simülasyon sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Dairesel ve kare çekme işlemleri simetrik olduğu için, takımların ve malzemenin $\frac{1}{4}$ 'ü modellenmiştir. Zımba hızı 10 mm/dak alınmıştır. Her iki durumda da çekme işlemi 15 mm derinliğe kadar sürdürülmüştür. Malzeme kalınlığı 1 mm'dir.



Şekil 2. Kalıp ve zımba modelleri

Simülasyonlar 4 değişik çözüm ağı büyüklüğü kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çözüm ağı büyüklükleri ve bunlara karşılık gelen eleman ve nod sayıları Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Analizde kullanılan eleman ve nod sayıları

Eleman Büyüklüğü (mm)	Dairesel Malzeme		Kare malzeme	
	Nod	Eleman	Nod	Eleman
5	113	104	81	64
3	276	262	196	169
2	625	604	441	400
1	2433	2392	1681	1600

Malzeme modeli olarak elasto-plastik model kullanılmıştır [7]. Plastik akış simülasyonu için Swift kanunu formülasyonlara adapte edilmiştir. Swift kanununda kullanılan sabitler Şenalp [11] tarafından yapılan deneyler dikkate alınarak seçilmiştir. Sabitler için kullanılan değerler Tablo 2'de gösterilmiştir. Sürtünme katsayısı, Şenalp'in deneylerine göre bütün simülasyonlarda 0.04 olarak alınmıştır.

Tablo 2. Malzeme sabitleri

A (kN/mm ²)	0.667
B (mm/mm)	0.054
n	0.361
Y (kN/mm ²)	0.268
E (kN/mm ²)	200
v	0.3

Baskı Plakası ile Kare Çekme Simülasyonu

Bu simülasyonlarda 40x40 mm kare malzeme, 20x20 mm kare bir kalıp kullanılarak çekilmiştir. Malzemeyi modellemek için kullanılan elemanların büyüklüğü 3 mm, 2 mm ve 1 mm'dir. 250 kgf sabit baskı plakası kuvveti uygulanmıştır. Çekme işlemi 15 mm çekme derinliğine kadar sürdürülmüştür. Malzemelerin 10 mm ve 15 mm çekme derinlikteki deforme durumları Şekil 3'de gösterilmiştir.

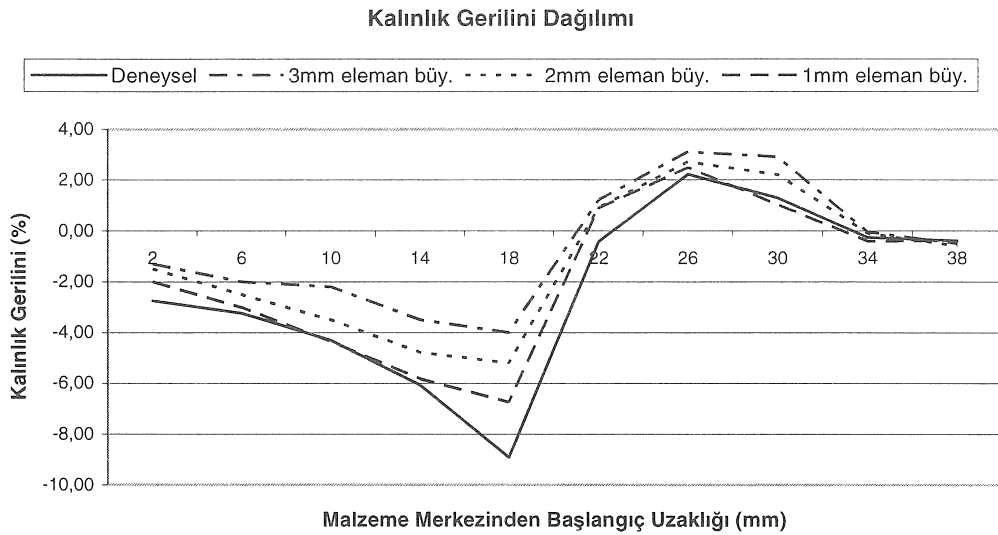
Simülasyon sırasında çekme işleminin çeşitli dönemlerinde malzeme kalınlığı değerleri okunarak, bu değerler deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Şekil 4'de 10 mm çekme derinliğinde, malzemenin köşegeni üzerindeki kalınlık değerlerinin, her üç eleman büyüklüğü ve deneysel sonuçlar için grafiksel karşılaştırılması yapılmıştır.

Baskı Plakası Kullanılmayan Kare Çekme Simülasyonu

Bu simülasyonlarda 40x40 mm kare malzeme, 20x20 mm kare bir kalıp kullanılarak çekilmiştir. Malzemeyi modellemek için kullanılan elemanların büyüklüğü 3 mm, 2 mm ve 1 mm'dir. Baskı plakası kuvveti uygulanmamıştır. Çekme işlemi 15 mm çekme derinliğine kadar sürdürülmüştür. Malzemelerin 10 mm ve 15 mm çekme derinlikteki deforme durumları Şekil 5'te gösterilmiştir.

Derinlik	Eleman Büyüklüğü		
	3 mm	2 mm	1 mm
10 mm			
15 mm			

Şekil 3. Baskı plakası kuvveti uygulanan kare malzemenin deformasyonu

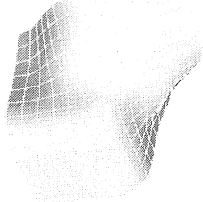
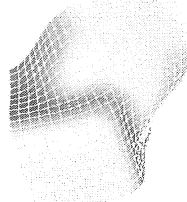
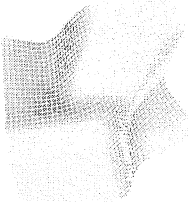
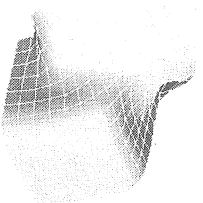
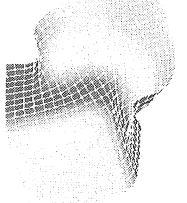
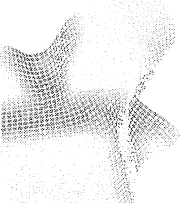


Şekil 4. 10 mm çekme derinliğinde köşegen üzerindeki kalınlık gerilimleri

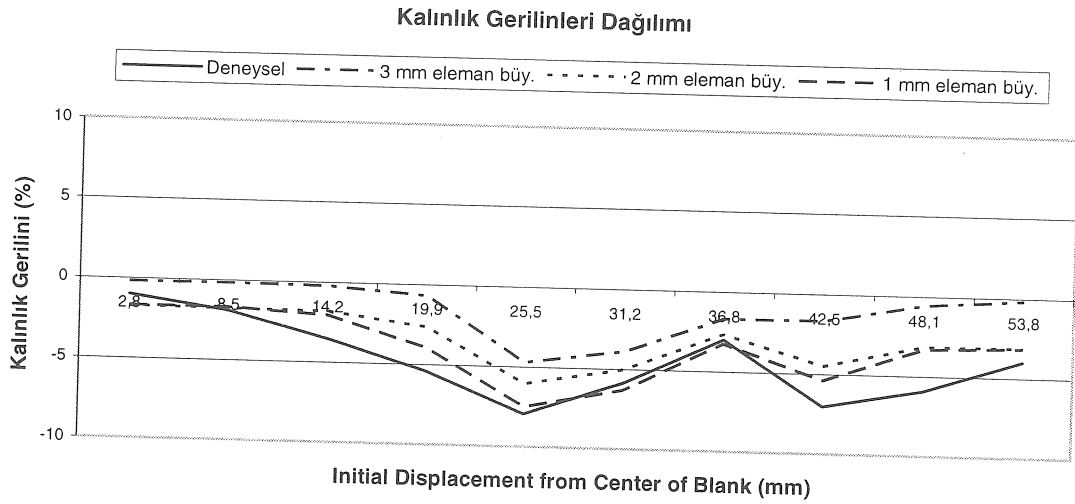
Baskı plakası kuvvetinin uygulanmadığı bu simülasyonlarda da çekme işlemi esnasında malzeme kalınlığı değerleri okunarak, deneysel verilerle karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 6'da 10.5 mm çekme derinliğinde, malzemenin köşegeni üzerindeki kalınlık gerilimi değerlerinin, malzemenin merkezine olan ilk uzaklıklarına göre dağılımı grafiksel olarak gösterilmiştir.

Baskı Plakası Kullanılmayan Dairesel Çekme Simülasyonu

Bu simülasyonlarda 40 mm çaplı dairesel malzeme, 20 mm çaplı dairesel bir kalıp kullanılarak çekilmiştir. Malzemeyi modellemek için kullanılan elemanların büyüklüğü 5 mm, 3 mm, 2 mm ve 1 mm'dir. Baskı plakası kuvveti uygulanmamıştır. Çekme işlemi 15 mm çekme derinliğine kadar sürdürülmüştür. Malzemelerin 10 mm ve 15 mm çekme derinlikteki deforme durumları Şekil 7'de gösterilmiştir.

Derinlik	Eleman Büyüklüğü		
	3 mm	2 mm	1 mm
10 mm			
15 mm			

Şekil 5. Baskı plakası kuvveti uygulanmayan kare malzemenin deformasyonu



Şekil 6. 10.5 mm çekme derinliğinde köşegen üzerindeki kalınlık gerinleri

Baskı Plakası Kuvvetinin Bulunmasına Yönelik Simulasyonlar

Bu simülasyonlarda 40 mm çaplı dairesel malzeme, 20 mm çaplı dairesel bir kalıp kullanılarak çekilmiştir. Malzemeyi modellemek için kullanılan elemanların büyüklüğü 1 mm'dir. Uygulanan baskı plakası kuvveti değiştirilerek, dalga sayısının artan kuvvetle değişimi incelenmiş, ayrıca hangi kuvvet büyüklüğünde buruşma davranışının gerçekleşmediği araştırılmıştır. Çekme işlemi 15 mm çekme

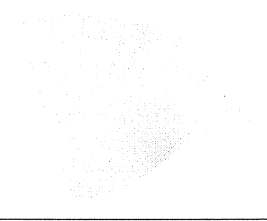
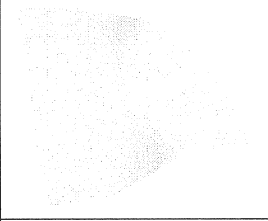
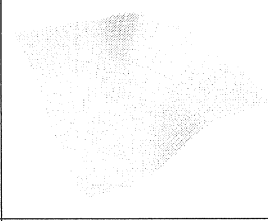
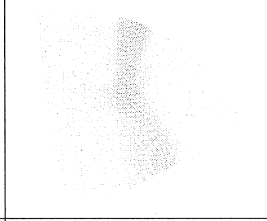
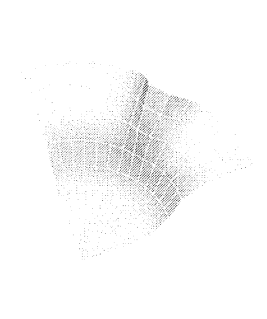
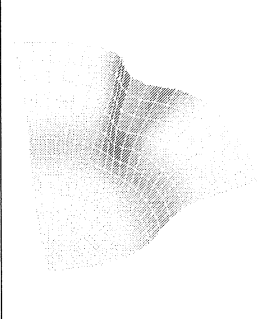
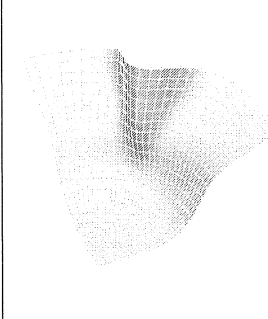
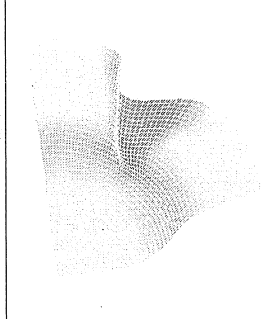
derinliğine kadar sürdürülmüştür. Uygulanan baskı plakası kuvvetleri sırasıyla 25 kgf, 50 kgf, 100 kgf, 150 kgf, 200 kgf and 215 kgf 'tur. Malzemelerin 15 mm çekme derinliğindeki deforme durumları Şekil 8'de gösterilmiştir.

SONUÇ

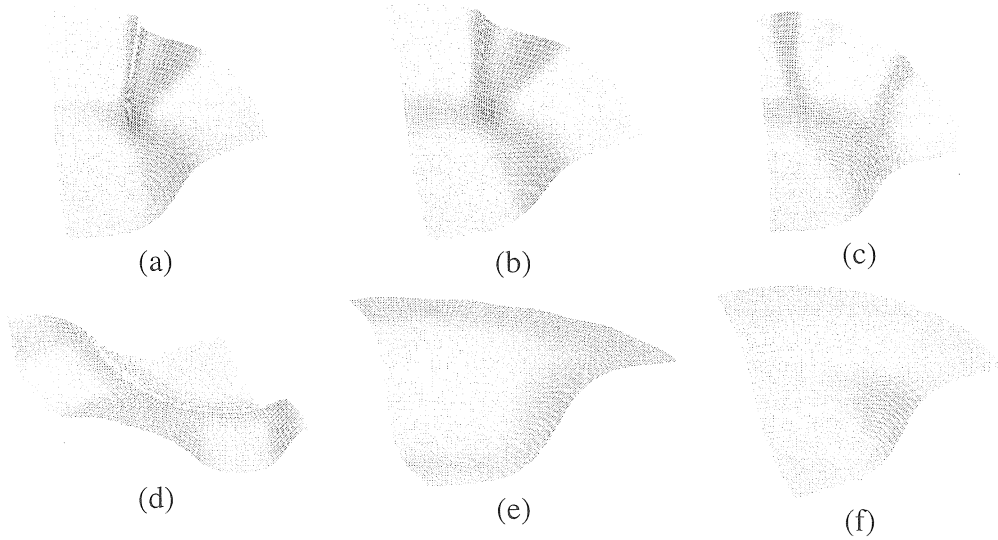
Bu çalışmada, derin-çekme operasyonlarındaki buruşma davranışını analiz etmek için bir program geliştirildi. Program eleman nodlarındaki deplasman

değerlerini hesap etmektedir. Bu deplasman değerleri kullanılarak gerilim ve gerilim değerleri hesaplanmaktadır. Nod deplasmanları ANSYS programında görüntülenebilecek şekilde düzenlenmektedir. Program kare ve dairesel derinçekme operasyonlarının değişik eleman büyüklükleri ile analizlerini gerçekleştirmiştir. Sonuçlar deneysel verilerle ve PAM-STAMP programı ile gerçekleştirilen analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Kare ve dairesel çekme operasyonları için yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde, beklendiği gibi eleman boyutu küçüldükçe sonuçların deneysel değerlere ve PAM-STAMP sonuçlarına yakınsadığı görülmüştür. Sonuçların PAM-STAMP programında aynı eleman büyüklükleri ile gerçekleştirilen analizlerle karşılaştırılması neticesinde, sonuçların uyumlu olduğu gözlenmiştir (Bkz Şekil 9).

Derinlik	Eleman Büyüklüğü			
	5 mm	3 mm	2 mm	1 mm
10 mm				
15 mm				

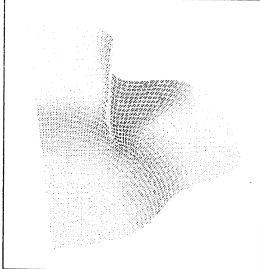
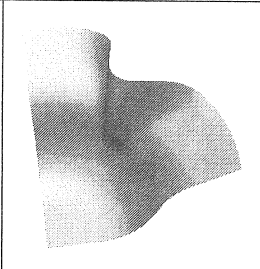
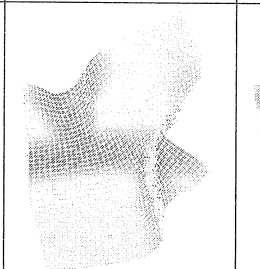
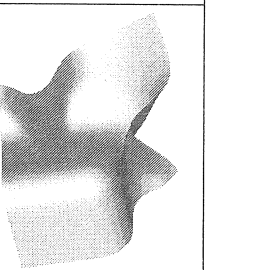
Şekil 7. Baskı plakası kuvveti uygulanmayan dairesel malzemenin deformasyonu



Şekil 8. 15 mm derinlikte malzeme deformasyonu a) 25kgf b) 50 kgf c) 100 kgf d) 150 kgf e) 200 kgf f) 215 kgf baskı plakası kuvvetleri için

Kare çekme operasyonları için gerçekleştirilen analizler esnasında, 5 mm eleman büyüklüğü ile gerçekleştirilen simülasyonların kabul edilebilir sonuçlar vermediği görülmüştür. Bunun sebebi bu eleman büyüklüğünün çok kaba bir çözüm ağı yaratması olmuştur. 3 mm eleman büyüklüğünde bile simülasyon sonucu elde edilen deforme olmuş

malzeme görünümünde, ağ genişliğinden kaynaklanan küçük bozulmalar görünmektedir. Buradan hareketle 2 mm'den büyük elemanların kare çekme simülasyonları için uygun olmadığı sonucuna varılabilir.

Dairesel Çekme		Kare Çekme	
Nümerik	PAM-STAMP	Nümerik	PAM-STAMP
			

Şekil 9. Kare ve dairesel çekme işlemleri için elde edilen sonuçların PAM-STAMP programının sonuçlarıyla karşılaştırması – çekme derinliği 15mm, eleman büyüklüğü 1mm

Kare çekme simülasyonlarının sonuçları deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma kalınlık gerilimleri üzerinden yapılmıştır. Eleman büyüklüğü azaldıkça, sonuçların deney değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuç baskı plakası kullanılan ve kullanılmayan analizlerin hepsi için geçerlidir.

Buruşmayı önlemek için gerekli olan baskı plakası kuvvetini bulmak için bir dizi simülasyon gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyonlarda eleman boyutu olarak 1 mm seçilmiştir. Baskı plakası kuvveti 25 kgf seviyesinden başlatılarak artırılmıştır. Kuvvet arttıkça oluşan dalga sayısının arttığı gözlenmiştir. 6 simülasyon sonucunda 215 kgf baskı plakası kuvvetinin buruşmayı önlemek için yeterli olduğu gözlenmiştir.

COMPUTER AIDED MODELLING OF WRINKLING IN DEEP DRAWING

In this work, the finite element method is used to obtain the wrinkling behavior. A four noded five degree of freedom shell element is formulated. Isotropic elasto-plastic material model with Von Mises yield criterion is used. By using this shell element, the developed code can predict the bending behavior of workpiece besides membrane behavior. Simulations are carried out with four different element sizes and two different shapes (circular and rectangular). The thickness strain and nodal displacement values obtained are compared with results of a commercial finite element program and results of previously conducted experiments.

Keywords: Wrinkling, Deep Drawing, Sheet Metal Forming, The Finite Element Method, Computer Aided Metal Forming.

KAYNAKÇA

1. Johnson W., Mellor P.B., "Engineering Plasticity", Ellis Horwood Ltd., 1983.
2. Kaftanoğlu B., "Plastic Analysis of Flange Wrinkling in Axisymmetrical Deep-Drawing". *Proceedings of the 21st International Machine Tool Design and Research Conference*, 1980, pp.21-28.
3. Cao J., "Prediction of Plastic Wrinkling Using the Energy Method", *Journal of Applied Mechanics*, Vol.66, September 1999, pp.646-652.
4. Kawka M., Olejnik L., Rosochowski A., Sunaga H., Makinouchi A., "Simulation of Wrinkling in Sheet Metal Forming", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.109, 2001, pp.283-289.
5. Lejeune A., Boudeau N., Gelin J.C., "Wrinkling Predictions in Metal Forming", *Proceedings of the 5th International Conference and Workshop on Numerical Simulation of 3D Sheet Forming Processes*, Vol.1, 2002, pp.549-555.
6. Weili X., Huibao W., Yuying Y., Wang Z.R., "A Simplified Method of Wrinkling Simulation", *Journal of Materials Processing Technology*, Vol.121, 2002, pp.19-22.

7. Chu E., Xu Y., "An Elastoplastic Analysis of Flange Wrinkling in Deep Drawing Process", *International Journal of Mechanical Sciences*, Vol.43, 2001, pp.1421-1440.
8. Nordlund P., Häggblad B., "Prediction of Wrinkle Tendencies in Explicit Sheet Metal-Forming Simulations", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.40, 1997, pp.4079-4095.
9. Lee C., Cao J., "Shell Element Formulation of Multi-Step Inverse Analysis for Axisymmetric Deep Drawing Process", *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, Vol.50, 2001, pp.681-706.
10. Bathe K.J., "Finite Element Procedures in Engineering Analysis", Prentice-Hall Inc., 1982.
11. Şenalp A.Z., "Computer-Aided Wrinkling Analysis of Non-Axisymmetric Parts in Sheet Metal Forming", Ph.D Thesis, Middle East Technical University, Mechanical Engineering Department, Ankara, May 1998.

Ürün Tasarımıyla İlgili Kalite Kontrol Ölçütlerinin Seçiminde Uzman Sistem Yaklaşımı

Selçuk Çebi

Emrullah Demirci

KTÜ, Mühendislik Fakültesi,
Makina Mühendisliği Bölümü,
TRABZON

Bu çalışmada ürün tasarımında kullanılan kalite kontrol ölçütlerinin aynı anda uygun seçimlerini sağlayan bir uzman sistem tasarımı yapılmıştır. Program, PROLOG diliyle yazılarak çalıştırılmış ve doğruluğu test edilmiştir. Geliştirilen program; üretim yöntemleri, yüzey kaliteleri, geçme türleri ve boyut toleransları gibi kalite kontrol ölçütleri arasında mantıksal ilişki kurarak istenilen ölçütün değerini ve özelliklerini kullanıcıya sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ürün tasarımı, kalite kontrol ölçütleri, uzman sistem.

GİRİŞ

Makina elemanlarının tasarımında göz önüne alınan malzeme, boyut, geometrik şekil, üretim yöntemi gibi tasarım ölçütleri, ürün kalitesini etkilemektedir. Ürün kalitesini oluşturan tasarım, üretim ve kullanım kalitelerinin temelini tasarım kalitesi oluşturur ve diğer ikisinin düzeyini belirler. Bir ürünün belirli bir işlevi yerine getirebilmesi için bu ürünün, tasarım aşamasında belirli standartları ve spesifikasyonları belirlenir. Bu standart ve spesifikasyonların üretim aşamasında gerçekleştirilebilmesi göz önüne alınmalıdır. Çünkü üretim aşamasında kullanılan üretim yöntemleri ve işleme makineleriyle ürünlerin anma (nominal) boyutları elde edilemediğinden bu boyutlara ürünün işlevini yerine getirebilecek ölçüde tolerans bilgileri eklenir. Üretimde izin verilen hatalar olarak bilinen bu toleranslar bazı kurallardan, sembollerden ve tablolardan oluşmaktadır ve literatürde bunları açıklayan bir çok standart bulunmaktadır [1,2].

Ürün tasarımında genel ölçülendirme ve toleranslama işlevi önemli bir yer tutarken geometrik ölçülendirme ve tasarım da bu genel tasarıma ek yeni kavramlar ve uygulamalar içermektedir [3]. Bu çalışmada genel tasarımdaki toleranslama (boyut toleranslama) üzerinde durulacaktır. Makina parçalarının ölçülendirilmesinde kullanılan toleranslar genellikle tolerans tablosundan seçilir. Eş çalışacak parçaların kullanım alanına göre tolerans kalitesi, alıştırma türü, üretim yöntemine göre tolerans seçimi, montaj toleransı ve açılabilir toleranslar tasarımcının deneyimine bağlı olarak belirlenir. Bu çalışmada tolerans seçimi, sapma değerleri, seçilen toleransın hangi üretim yöntemiyle elde edilebileceği, yüzey kalitesi gibi bilgiler uzman sistem yaklaşımıyla elde edilmeye çalışılmıştır.

Günümüzde bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle mühendislik alanıyla ilgili tolerans konusunda yazılım tabanlı bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Literatürde yazılım tabanlı tolerans seçimini sağlayan birçok çalışma vardır. Ateş ve Çoğun [2] dBASE IV veritabanında topladıkları tolerans tablosu bilgilerini kullanarak tolerans çıktı değerlerini bulan ve eğitim amaçlı kullanılan bir yazılım geliştirmişlerdir. Levesque [4] mevcut ISO tolerans sistemini inceleyerek toplam toleransı hesaplayan formüller önermiştir. İrani ve diğerleri [5] tolerans tablolarının optimizasyonu ile ilgili çalışmalar yapmışlar ve tolerans yerleştirmesinin optimizasyonu için bir doğrusal programlama modeli geliştirmişler. Ayrıca geliştirdikleri program ile doğrusal tolerans maliyet fonksiyonlarını ve alternatif proses seçimini birleştirmişlerdir. Weill [6] endüstride kullanılacak şekilde geliştirdiği programla hem işleme toleranslarının hem de geometrik toleransların belirlenmesini sağlamıştır. Ji ve diğerleri [7] yaptıkları çalışmada proses planlama için işleme boyutlarının ortalama büyüklüklerini hesaplayan ve toleranslara karar veren bilgisayar destekli bir proses planlama sunmuşlardır. Gerth ve Hancock [8] ürün spesifikasyonlarını iyileştirmek için monte-carlo benzetimini kullanarak tolerans analizi yapmışlar ve DC motor imalatında uygulamışlardır. Pan ve Tang [9] ürünlerin açılabilir özellikleriyle beraber tolerans tablolarını bilgisayar destekli tasarım yöntemiyle incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada tolerans yığılması ile ilgili temel trigonometrik formülleri kullanarak müsaade edilen toleranslara ulaşabilmek için optimizasyon teknikleri geliştirmişler ve maliyet eniylemesi yapmışlardır. Tucho ve diğerleri [10] tarafından mekanik sistemlerin görünüş tasarımına yardımcı olan CAD sistemiyle birleştirilmiş bir

uzman sistem programı geliştirilmiş ve öğrencilerin kullanımına sunulmuş.

Yapılan çalışmalarda genellikle bilgisayar destekli olarak tolerans-boyut seçimi, optimizasyonu ve maliyet minimizasyonu (eniyilemesi) üzerinde durulmuştur. Bazı çalışmalarda üretim yöntemleri ile tolerans arasındaki ilişkiler ve bazılarında ise montaj toleransları işlenmiştir. Bu çalışmada üretim yöntemleri, yüzey kaliteleri, geçme türü ve boyut toleransları arasındaki ilişki uzman sistem yardımıyla kurulmakta ve seçilen toleransın hangi üretim yöntemiyle, hangi yüzey kalitesinde olabileceği önerilmekte ve sapma değerleri hesaplanabilmektedir. Böylece ürün tasarımında kullanılan kalite kontrol ölçütlerinin aynı anda uygun seçimleri bir uzman sistem aracılığı ile gerçekleştirilmektedir.

ÜRÜN KALİTESİ

Bir ürünün kalite düzeyini oluşturan birçok faktör vardır. Tüketici istekleri, ürün tasarımı, malzeme, işleme yöntemleri, muayene işlemleri, fiyat, satış politikası gibi bir çok faktör, tasarlanması ve daha sonra üretilmesi gerektiğinden tüm faktörler, tasarım kalitesi ve üretim kalitesi adı altında toplanmışlardır [11]. Tasarım kalitesini bir ürünün boyut, tolerans, ağırlık, hacim, dayanıklılık gibi fiziksel niteliklerle renk, koku, görünüş gibi estetik özellikleri belirler [12]. Tasarım kalitesinin düzeyini, tüketicinin ödediği veya ödeyebileceği para ile kalitenin üretici açısından maliyeti arasındaki denge belirler. Üretim kalitesi ise tasarımda belirlenen kalite özelliklerine üretim sırasındaki uyum derecesidir. Üretim kalitesinin gerçekleştirilmesinde çeşitli maliyetlerin dengelenmesine çalışılır.

Toleranslama

Makina parçalarının tasarımı yapılırken verilen anma (nominal) boyutları malzeme faktörü, üretim yöntemleri, ölçme yöntemleri, insan faktörleri, maliyet faktörleri gibi birçok nedenden dolayı tam olarak üretim aşamasında elde edilemez. Genellikle anma boyutları, boyut, geometrik ve yüzey kalitesi yönünden bir takım sapmalar gösterir. Bu nedenle anma boyutlarına parçanın kullanım yerine göre tolerans bilgileri eklenerek parçanın çalışması sağlanabilmektedir. En genel anlamda müsaade edilen hatalar olarak tanımlanabilen toleransların dar seçilmesi durumunda kalitenin artmasıyla birlikte maliyetin de arttığı, geniş tutulması durumunda ise tersi olduğu bilinmektedir. Sapma olarak da bilinen bu ölçü sınırları parçanın boyutuna ve kullanım alanına göre değişim gösterirler. Sapma değerleri ISO

tolerans tablolarından belirlenir [14,15]. Ayrıca ISO tolerans sisteminde tolerans değerlerine bağlı olarak 01'den 16'ya kadar 18 tolerans kalitesi kabul edilmiştir. Genel bilgi yönünden makina elemanlarının kullanım alanlarına göre tolerans önerileri çeşitli kitap ve standartlarda bulunmaktadır [14,16].

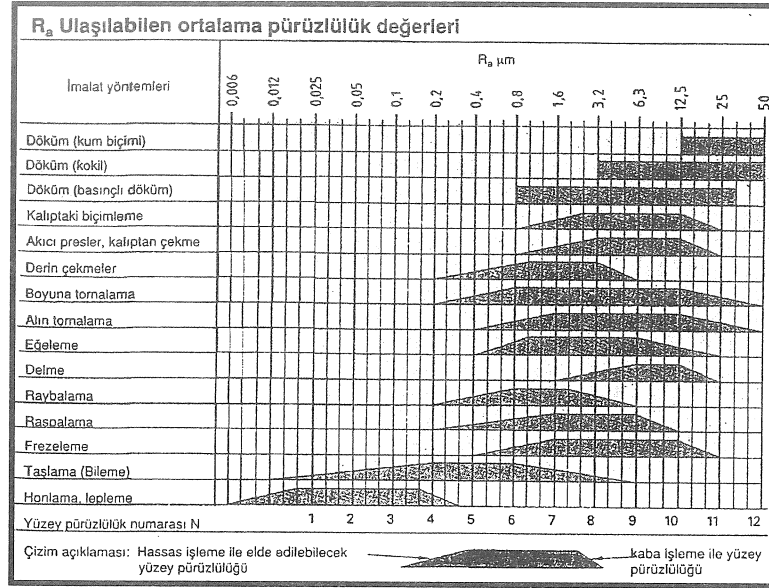
Tolerans konusu genelde boyut toleransı, şekil ve konum (geometrik) toleransları olmak üzere iki kısımda incelenirler. Bu çalışmada geometrik toleranslama başka bir çalışma konusu olmak üzere boyut toleransları ele alınmıştır.

Yüzey kalitesi

Makina parçalarının yüzeylerinin (özellikle çalışan yüzeylerin) hangi pürüzlülük değerine sahip olması gerektiğine tasarımcı karar verir. Parçanın işlevine göre yüzey kaliteleri belirlenirken bu kaliteyi üretebilmek için işleme (üretim) yöntemi de eşzamanda belirlenmelidir. Aynı zamanda hassas olması gereken yüzeylerin kaba, kaba olması gereken yüzeylerin hassas yüzey olarak belirlenmesi maliyeti arttıracak göz önüne alınmalıdır. Bu nedenle bazı makina elemanlarının hangi yüzey kalitesinde üretileceği çeşitli literatürlerde çizelgeler halinde verilmiştir (DIN 4766). TS 2040'da da ortalama pürüzlülük değeri Ra'ya göre yüzeyler 12 ana sınıfa ayrılmış ve N1, 2, N3,, N12 şeklinde ifade edilmiştir [17]. Ayrıca genel üretim yöntemleriyle elde edilebilecek yüzey kaliteleri DIN4766 TS 2578 ve [18]'de çizelgelerle verilmiş olup bunlardan biri şekil 1'de gösterilmiştir.

Üretim

Belirlenen tolerans ve yüzey kalitesinin mevcut üretim araçlarıyla üretilebilirliği maliyet açısından önemli olmaktadır. Tolerans ve yüzey kalitesinin üretilmesi işlem tipine bağlıdır. Örneğin talaş kaldırmada takım tipi, takım hızı, talaş derinliği, kesme hızı gibi faktörler tolerans kalitesini, yüzey kalitesini ve maliyeti etkilemektedir. Parçaların üretiminde kullanılan üretim yöntemlerinin belli bir yüzey kalitesi ve tolerans sınırları vardır. Tolerans veya yüzey kalitesi belirlendikten sonra üretim yöntemi seçilmelidir (Şekil 1). Örneğin Çizelge 1'de talaş kaldırma işleminde elde edilen tolerans kaliteleri gösterilmiştir. Ayrıca üretim yöntemleriyle elde edilebilecek tolerans kaliteleri [1,18]'de ayrıntılı olarak verilmiştir. Aynı tolerans ve yüzey kalitesinin elde edilebileceği birden fazla üretim yönteminin olması durumunda maliyet açısından en uygun olanı seçilir.



Şekil 1. Genel üretim yöntemleriyle elde edilebilecek yüzey kaliteleri (DIN 4766) [19].

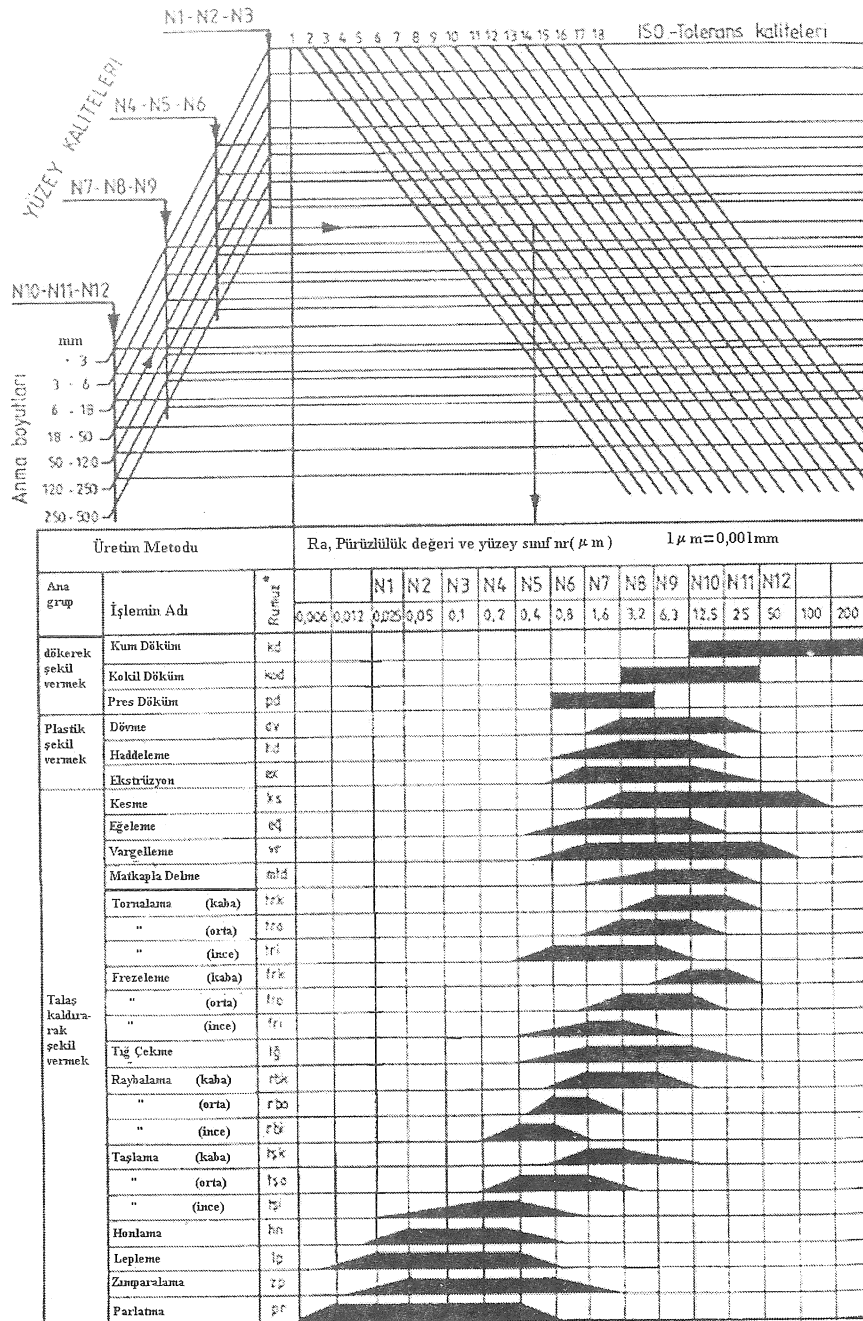
Çizelge 1. Talaş kaldırma işlemlerinde elde edilen kaliteler [20].

Kalite	Talaş Kaldırma İşlemi
IT8	Tornalama, Delme, Frezeleme, Vargelleme, Planyalama
IT7	Broşlama, İnce Taşlama, Raybalama
IT6	Dış ve İç Taşlama, Raybalama
IT5	İnce Taşlama
IT4	Çok ince Taşlama, Lepleme
IT3	Parlatma

Üretim Yöntemi - Yüzey Kalitesi - Tolerans Kalitesi İlişkileri

Tolerans tabloları incelendiğinde tolerans değerleri (sapma değerleri) boyuta göre (çap basamakları veya uzunluklarına göre) değişir. Aynı zamanda tolerans kaliteleri üretim yöntemine göre de değişir. Örneğin hassas tolerans kalitesini üretebilmek için hassas işleme yöntemi kullanılacak ve pürüzlülük değeri küçük (hassas yüzey kalitesi) olacaktır. O halde çeşitli üretim yöntemleriyle üretilen parçaların yüzey kalitesi ve tolerans kalitesi arasında genel bir ilişkinin olduğu söylenebilir [18]. Şekil 2'de üretim yöntemleri, boyut, yüzey kalitesi, tolerans kalitesi

arasındaki ilişki daha değişik bir düzenleme şeklinde verilmiştir. Şekil 2'ye göre tasarımcının belirlediği boyut, yüzey kalitesi ve tolerans kalitesinin hangi üretim yöntemiyle üretilebileceği belirlenebilmektedir veya tersi de yapılabilmektedir. Burada belirlenen çaptaki parçanın seçilen yüzey kalitesinde ve tolerans kalitesinde üretimi, birden çok üretim yöntemiyle yapılabildiği görülmektedir. Bu üretim yöntemlerinden maliyeti en düşük olan ve mevcut üretim yöntemi seçilir. Diğer yöntemler alternatif olarak seçilebilir. Bu çalışmada bu ilişkileri kurabilecek bir uzman sistem programı geliştirilmiştir.



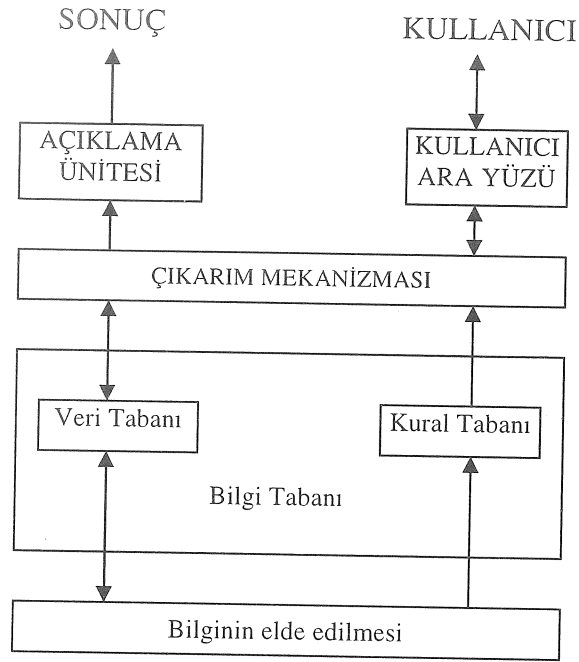
Şekil 2. Üretim yöntemi, boyut, tolerans kalitesi ve yüzey kalitesi ilişkileri (DIN 4764) [17].

UZMAN SİSTEMLER (US)

US'ler yapay zekanın (AI) uygulama alanlarından biri olup özel bir alandaki uzman bilgi gerektiren problemleri çözebilen ve bu bilgileri belli bir formatta temsil edip saklayabilen programlardır. Bir uzman sistemin herhangi bir alanda bir uzman gibi yanıt verebilmesi için, o alanla ilgili uzman bilgileriyle donatılmış olmalıdır. Bu bilgileri bir uzmandan alarak bilgisayar diline dönüştüren bilgi mühendisleri, uzman sistem tasarımcısıdır [21,22].

Uzman sistemin yapısında bulunan çıkarım mekanizması, bilgi tabanındaki bilgilerden yeni bilgiler türetmek için bu bilgileri kullanıcıya sunar ve kullanıcının karar vermesine yardımcı olur.

Bir uzman sistemin genel yapısı şekil 3'de görüldüğü gibi çıkarım mekanizması, bilgi tabanı, açıklama ünitesi ve kullanıcı ara yüzü birimlerinden oluşur [22]. Uzman sistemleri oluşturan bu alt birimlerle ilgili birimler [21, 22, 24, 25]'te ayrıntılı olarak verilmiştir.



Şekil 3. Uzman sistemin genel yapısı.

TOLERANS KALİTESİ - YÜZEY KALİTESİ - ÜRETİM YÖNTEMİ İLİŞKİSİNDE UZMAN SİSTEM YAKLAŞIMI

Parça tasarımında boyut toleranslarının, özellikle alıştırmaların ve tolerans zincirlerinin seçimi üretim bilgisinin de göz önüne alınmasını gerektirmektedir. Parçanın kullanım yerine göre seçilen toleranslar ve alıştırmalar için standart tabloları kullanırken bu tolerans kalitesi için yüzey kalitesinin seçiminde yüzey kalitesiyle ilgili standartlar kullanılır. Ayrıca seçilen tolerans kalitesinin üretimi için üretim yöntemi ya da tezgah seçimi maliyet açısından önemli olmaktadır. Diğer bir deyişle eldeki mevcut üretim yöntemleriyle veya tezgahlarla hangi yüzey kaliteleri ve tolerans kaliteleri üretilebileceği parça tasarımında önemlidir. Bu bilgiler eşzamanlı olarak kullanılarak parça tasarımı yapılmalıdır. Bu bilgileri bilgi tabanında bulunduran, seçilen toleransı hangi tezgahta en ekonomik üretilebileceğini öneren ve alternatif üretim yöntemlerini de verebilen, mantıksal programlama diliyle yazılan bir uzman sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen uzman sistemin yapısı şekil 4' de verilmiştir.

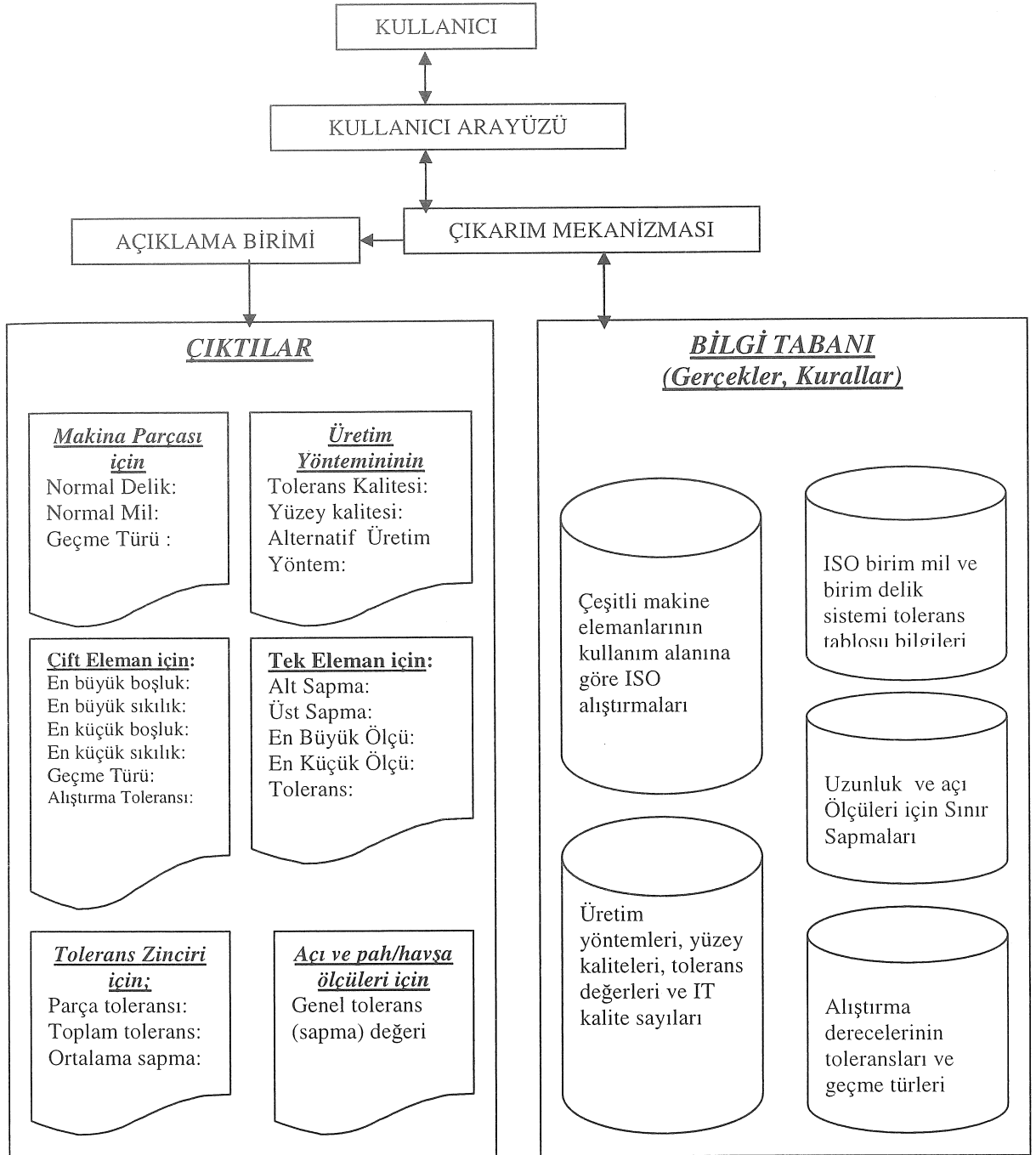
Bilgi tabanı

Problemlerle ilgili alandaki deneyime dayalı bilgilerin (uzman bilgilerinin) saklandığı yerdir. Uzman sistemin en önemli parçalarını oluşturan bilgi tabanı, yeni bilgilerle sürekli genişleyebilen veya eskiyen bilgilerin atılarak güncellenebilen bir yapıya sahiptir [22]. Bu çalışmada bilgi tabanındaki bilgiler, ISO'nun tolerans ve alıştırma sistemiyle ilgili bilgiler

olmaktadır. Bu bilgiler gerçekler ve IF-THEN şekline dönüştürülmüş kurallardır. Çeşitli kaynaklardaki mil/delik toleranslarını içeren tablolar IT kalite sayıları, makine imalatında kullanılan alıştırmalar, tolerans bölgeleri ve anma boyutları; uzunluk ve açı ölçüleri için genel toleranslar; yüzey kaliteleri ve değerleri; üretim yöntemlerinde elde edilebilecek tolerans ve yüzey kaliteleri gibi bilgileri bilgi tabanına aktarılmıştır. Uzman sistem bu bilgileri kullanarak istenilen çaptaki tolerans değerlerini, geçme türlerini ve üretim yöntemini şekil 4'deki gibi çıktı olarak vermektedir. Uzman sistem geriye doğru zincirleme yöntemini de kullanarak temel tolerans bilgilerine de ulaşabilmektedir. Örneğin eldeki mevcut tezgahlarla hangi tolerans ve yüzey kalitesinin üretilebileceği ile ilgili bilgilere ulaşabilmektedir.

Gerçekler: Herkesin kabul ettiği ve ISO tarafından hazırlanan tolerans ve alıştırma sistemleriyle ilgili bilgileri kapsar. Bu bilgiler Prolog programlama diliyle gerçekler (facts) olarak bilgi tabanında bulunmaktadır. Bilgi tabanında yer alan bazı gerçekler aşağıdaki gibi yer almıştır.

- Krank millerinin ana yatakları, piston kolu yatakları, kaygın yataklar için H8/f7 (birim delik sistemi), F8/h9 (birim mil sistemi) toleransları kullanılır.
- Birim delik sistemi için H6/n5 hassas alıştırma derecesi olup çakma geçmedir.
- Taşlama işlemi sonucunda kalite sayısı IT5-IT8 ve yüzey kalitesi N4-N7 arasında elde edilir. 25mm lik bir delik çapı için H7 toleransının en büyük sapma değeri +21µm ve en küçük sapma miktarı 0µm dir



Şekil 4. Geliştirilen uzman sistemin yapısı.

Kurallar : Doğruluğu herhangi bir koşula bağlı olan iddiaları içerir. Kurallar IF-THEN şeklinde olup yukarıdaki gerçekleri kullanarak sonuca ulaşmaya çalışır. Bilgi tabanında yer alan bazı kurallar aşağıda verilmiştir.

- **IF** kullanıldığı yer Krank millerinin ana yatakları
OR piston kolu yatakları
OR kaygın yataklar

THEN tolerans değerleri; H8/f7 (birim delik sistemi), F8/h9 (birim mil sistemi)

- **IF** Kalite sayısı IT6-IT10
AND yüzey kalitesi N6-N10 arasında
THEN Üretim Yöntemi Tornalama işlemidir.

- **IF** geçme toleransı H6/n5
THEN Alıştırma Derecesi hassas alıştırma olup çakma geçmedir.

Çıkarım mekanizması

Uzman sistemin bilgi tabanındaki bilgilerden yeni bilgiler üretmek için kullanılan bir alt birimdir. Bir çok yöntemle kurulabilen çıkarım mekanizması ileriye doğru ve geriye doğru zincirleme (akıl yürütme) olmak üzere iki şekilde çalışır. İleriye doğru zincirlemede bilgi tabanındaki kuralların en başından başlayarak (IF cümlesinden) sonuç kısmına (Then cümlesine) ulaşır. Geriye doğru zincirlemede ise sonuçlardan geriye doğru hareket edilerek ara işlemlerin neler olması gerektiği bulunur. Bu çalışmada oluşturulan çıkarım mekanizması bilgi tabanındaki kurallardan uygun olanları seçerek sonuca ulaşır. Örneğin kalite sayısı ve yüzey kalitesiyle ilgili kural çalıştırılınca, bu kurala ait tüm koşullar araştırılır ve uygun olanlar seçilerek sonuca ulaşılır. Aşağıda bununla ilgili bir örnek verilmiştir.

A: Kalite sayısı IT6-IT10 ve yüzey kalitesi N6-N10 arasında

B: IF kalite sayısı IT6-IT10

AND yüzey kalitesi N6-N10 arasında

THEN üretim yöntemi tornalama işlemidir.

C: Sonuç; Üretim yöntemi tornalama işlemidir.

Kullanıcı arayüzü: Kullanıcı ile uzman sistem arasındaki iletişimi sağlayan birimdir. Kullanıcı ile sistem arasında evet/hayır, neden/nasıl sorularıyla, bazen rakamlarla, bazen de iyi/kötü gibi bulanık değerlerle iletişim kurulur.

Açıklama ünitesi : Uzman sistemin sonuca nasıl ulaştığına ilişkin soruların cevaplandığı alt birimdir.

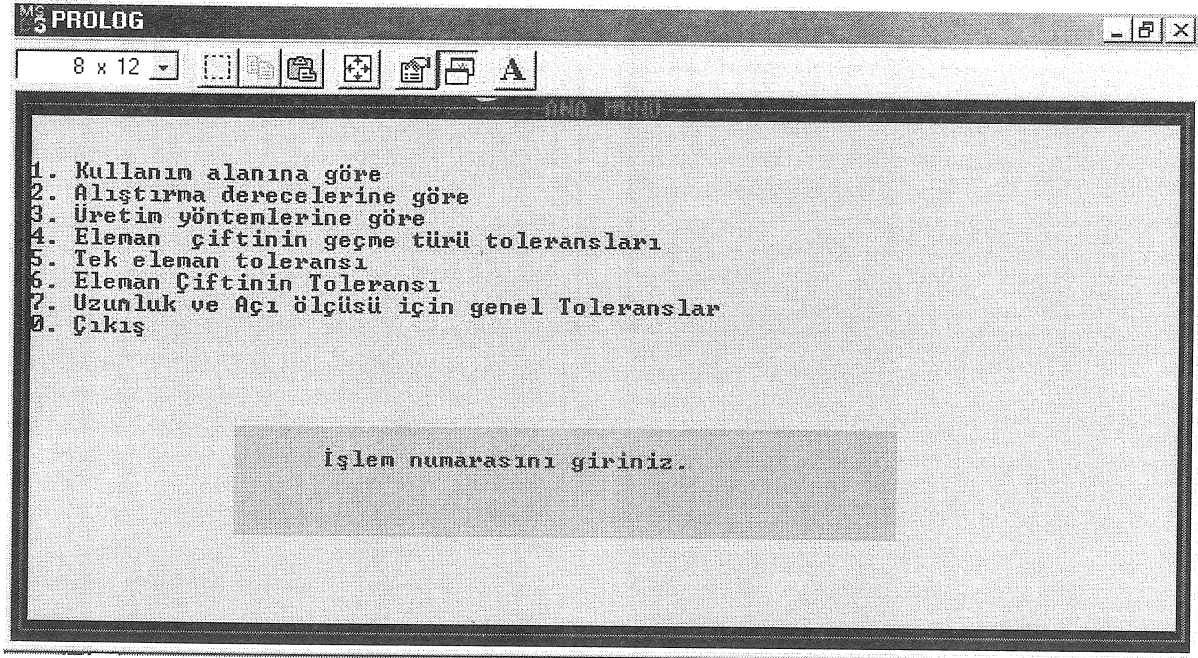
Kullanıcı ulaşılan sonuca nasıl ulaştığını "nasıl, neden, niçin" gibi sorular sorarak öğrenebilir.

UYGULAMA

Bu çalışmada kullandığımız bilgiler sayısal ve sayısal olmayan bilgilerdir (tümce şeklindedir). Bu bilgilerin işlenmesinde mantıksal yol izlenmektedir. FORTRAN, PASCAL, C gibi programlama dilleriyle bu bilgilerin mantıksal olarak değerlendirilmesi zor olduğundan, programla için mantıksal bir dil PROLOG programlama dili tercih edilmiştir.

Hazırlanan uzman sistem programı, herhangi bir makina elemanının toleransının belirlenmesinde deneyime dayalı ve standartlara uygun tolerans önerilerini verebilmekte ve parçanın tolerans kalitesinin belirlenmesi durumunda çap değerlerinin (delik/mil) sapma ve max-min değerlerini hesaplayabilmektedir. Program, tolerans ile yüzey kaliteleri analizinde ve üretilmesinde hiçbir tablo gerektirmeyecek şekilde hazırlanmıştır. Programın her aşaması menüleştirilmiş, tolerans analizi ve seçimi bu menüler üzerinden yapılmaktadır. aşağıda programın her bir menüsünde yapılan işlemlere örnekler verilmiş, aynı örnekler klasik yöntemlerle de çözümlenerek iki yöntem arasındaki farklar vurgulanmaya çalışılmıştır.

Program çalıştırıldığında ilk olarak hangi işlemlerin yapılacağını gösteren şekil 5'deki menü gelir ve bu menü üzerinden istenilen işlem seçilir. Böylece uzman sistem kullanıcı ile etkileşimli olarak çalışmaya başlar.



Şekil 5. Ana menü

Ana menüdeki 1 nolu seçenek girildiği zaman, kullanıcıya makina elemanlarının kullanım alanlarına göre tolerans önerilerini veren bir tablo sunulur. Kullanıcı parçanın kullanım alanını seçerek o kullanım alanıyla ilgili tolerans önerilerini ekrandan alır. Örneğin kolayca çıkarılabilen bir kasnak imalat resmi için tolerans önerilerine ihtiyacı olan tasarımcı programa parçanın kullanım alanını girdiğinde, program uygun tolerans değerini veri tabanında mevcut olan bilgilerden seçerek tasarımcıya sunar. Programın sonuç ekran görüntüsü Şekil 6'da verilmiştir.

Tasarımcı alıştırma derecelerine ihtiyaç duyarsa ana menüden 2 nolu işlemi seçtiğinde istenilen araştırma derecesinin tolerans önerileri program tarafından kullanıcıya sunulmaktadır (Şekil 7).

Programın ilk iki menüsünde yer alan bilgiler, kaynaklarda yer alan bilgi ve önerilerden derlenerek programın bilgi tabanına aktarılmıştır. Bu bilgiler tecrübe sonucu elde edilmiş bilgilerdir. Uzman bir tasarımcı kendi deneyimlerinden faydalanarak aynı sonuca ulaşabilirken, konusunda uzman olmayan bir tasarımcı için aynı bilgiye ulaşmak zor ve zahmetli olacaktır.

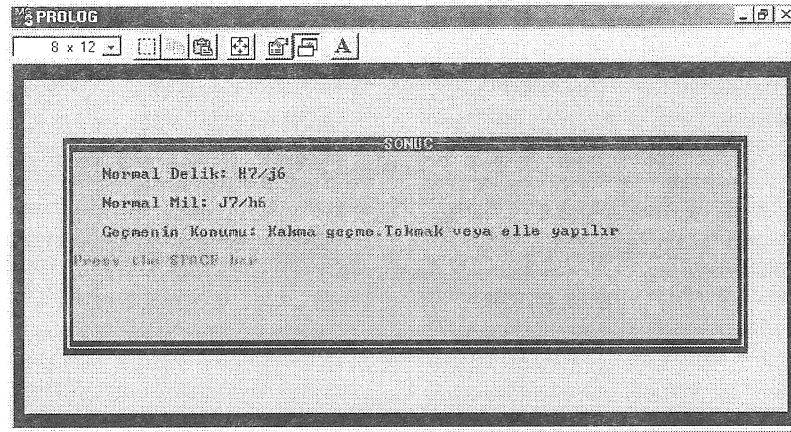
Ana menüden 3 nolu işlem seçildiğinde ekrana aşağıda gösterilen başlıklar gelir.

1. Üretim Yöntemlerini Girerek Yüzey Kalitelerini Elde Etme
2. Yüzey Kalite Değerlerini Girerek Üretim Yöntemlerini Elde Etme
3. Yüzey Kalitesi, Çap Değeri ve Kalite Sayısını Girerek Üretim Yöntemlerini Elde Etme

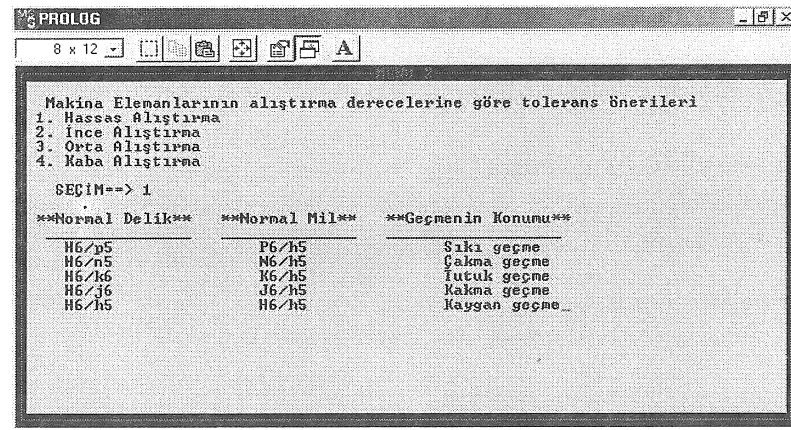
Eğer üretim yöntemi belliyse ve elde edilecek yüzey kaliteleri belirlenmek istenirse karşımıza gelen ekrandan ilk seçenek seçilir. Bu seçenekte program giriş değeri olarak üretim yöntemini girmemizi isteyecektir. Üretim yöntemi girildiğinde, girilen üretim yöntemiyle elde edilebilecek yüzey kaliteleri ve kalite sayıları sonuç olarak programdan alınır. Program sonuca, ilgili kurallar yardımıyla ulaşır. Programda bu alanla ilgili kurallardan biri aşağıda yer verilmiştir.

*EĞER seçilen üretim yöntemi "Taşlama"
İSE elde edilebilecek yüzey kalitesi "N4-N7"
arasında bir değerdir Ve taşlama işlemine ait
kalite sayısı ise "IT5-IT8" arasında bir değerdir.*

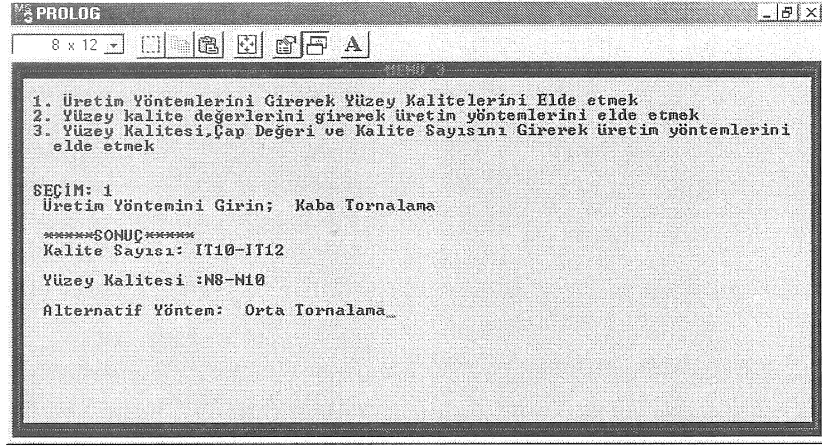
Bu kısımda girilen üretim yöntemine alternatif bir üretim yöntemi varsa, program bunu da kullanıcıya Şekil 8'deki gibi ekranda verir.



Şekil 6. Makina elemanının kullanım alanına göre tolerans önerisi.



Şekil 7. Makine elemanlarının alıştırma derecelerine göre tolerans önerileri.



Şekil 8. Üretim yöntemine göre tolerans ve yüzey kalitesi.

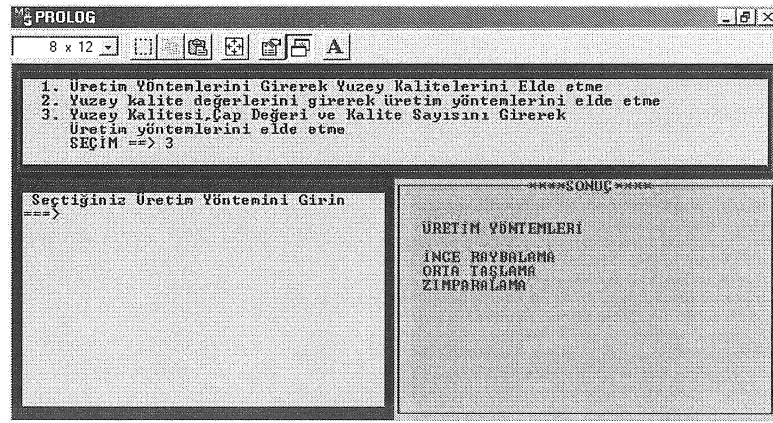
Elde etmek istediğimiz yüzey kaliteleri mevcutsa ve hangi üretim yöntemiyle bu yüzey kalitelerine elde edebileceğimize dair bir öneriye ihtiyaç duyuyorsak üç numaralı menüden (Şekil 5) iki numaralı işlev seçilir (Şekil 8). Bu kısımda program yüzey kalitelerine bağlı olarak üretim yöntemlerini ve seçtiğimiz üretim yöntemine alternatif olabilecek diğer üretim yöntemlerini de vermektedir.

Bu menünün üç numaralı seçeneğinde ise; çap, yüzey kalitesi ve kalite sayısının girilmesi sonucunda (Şekil 8) üretim yöntemleri ve alternatif üretim yöntemleri hakkında öneride bulunur. Üçüncü menü ile ilgili veri tabanı kaynaklarda [1] ve standartlarda yer alan tablolar (DIN 4766T1, DIN 4766T2, DIN ISO 286 T1) kullanılarak elde edilmiştir.

Örneğin tasarımcı 25mm çaplı bir parça için N6 yüzey kalitesini elde edebileceği üretim yöntemine ihtiyaç duyduğunda programın ana menüsünden 3 numaralı işlevden yine 3 numaralı seçeneği seçer ve program kullanıcıya 25mm çap için N6 yüzey kalitesini elde edebileceği üretim yöntemlerini sunar (Şekil 9).

Kullanıcı aynı sonuca ulaşabilmek için şekil 2'de verilen tabloyu kullanması gerekir. Bu tablo

genel bilgileri içeren bir tablodur. Kullanıcı kendi atölyesindeki bilgilere göre tabloyu yeniden düzenlemelidir. Bu da karmaşık bir işlem olduğundan hata yapma olasılığı vardır. Tablo hatasız bir şekilde kullanıldığında, elde edilen üretim yöntemleri ve aynı yüzey değerlerini verebilecek alternatif üretim yöntemleri programın sunduğu sonuç değerleriyle aynı olmaktadır. Bu kısımda kullanıcı üretilecek olan malzemenin geometrik özelliklerini ve atölyede mevcut makinaları bildiği için kendi kriterlerine uygun bir üretim yöntemi seçebilir. Uzman sisteme yüzey kalitesi, kalite sayısı ve çap gibi değerler girildiğinde program giriş kriterlerine uygun tüm üretim yöntemlerini ve alternatif üretim yöntemlerini verir. Bu genel bir yaklaşımdır. Bu nedenle uzman sistem veri tabanları, kullanıcının atölyesinde yer alan makinalar ve bu makinaların işleme özellikleri girilerek hazırlanması durumunda kullanıcının atölyesine daha uygun bir program olur. Çalışmamızda bu kısım genel tutulmuştur. Program sadece girilen yüzey kalitesini temel kriter olarak alır ve istenilen yüzey kalitesinin hangi üretim yöntemleriyle elde edilebileceğini kullanıcıya sunar.



Şekil 9. Çap, yüzey kalitesi ve kalite sayısına bağlı olarak elde edilen üretim yöntemleri sonuç penceresi

Ana menüden 4'nolu işlem seçildiği zaman eleman çiftinin geçme ve tolerans değeriyle ilgili menü ekrana gelir. Bu menüden ilk olarak birim delik/mil sistemi seçimi yapılır ve sonra tolerans değeri girilir. Sonuçta geçme durumuyla ilgili bilgi verilir (Şekil 10).

Ana menüde yer alan beş numaralı bölümde iki farklı işlem yapılabilmektedir. Birincisi, tek bir eleman için, kullanıcı tarafından girilen anma çapı ve tolerans sembolüne bağlı olarak, üst sapma ve alt sapma, parçanın en büyük ve en küçük çapı ve tolerans değerini kullanıcıya sunar (Şekil 11). Bu menüde yapılabilecek ikinci işlem ise programa nominal çap değeri, alt ve üst sapma değerleri girilerek tolerans sembolü, parçanın en büyük ve en küçük çap değerlerine ulaşılmaktadır. Burada program, ilk işlevin tersi yönünde çalışarak sonuca ulaşır (geriye doğru zincirleme).

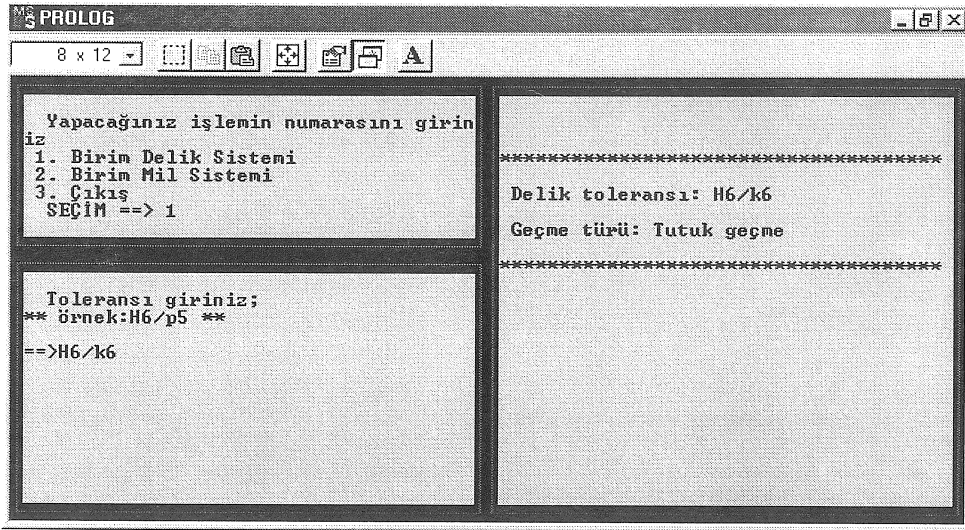
Ana menüden 6 nolu seçenek girildiği zaman eleman çifti için geçme hesabı yapılır. Şekil 12'de görüldüğü gibi açılan menünün sol tarafında yer alan ilk pencerede birim mil veya birim delik sistemlerinden birinin seçilmesi istenir. Seçimden sonra ikinci pencereden çap, delik ve mil toleranslarının girilmesi istenir. Giriş kriterlerine göre program, hem mil hem de delik için en büyük ve en küçük çapı, alıştırma toleransını, geçme türünü ve en büyük boşluk, en küçük boşluk, en büyük sıklık, en küçük sıklık değerlerinden uygun olan ikisini geçme türüne göre kullanıcıya sunar.

Hem beşinci hem de altıncı menüde yer alan kurallar ve gerçekler kaynaklarda yer alan formüller

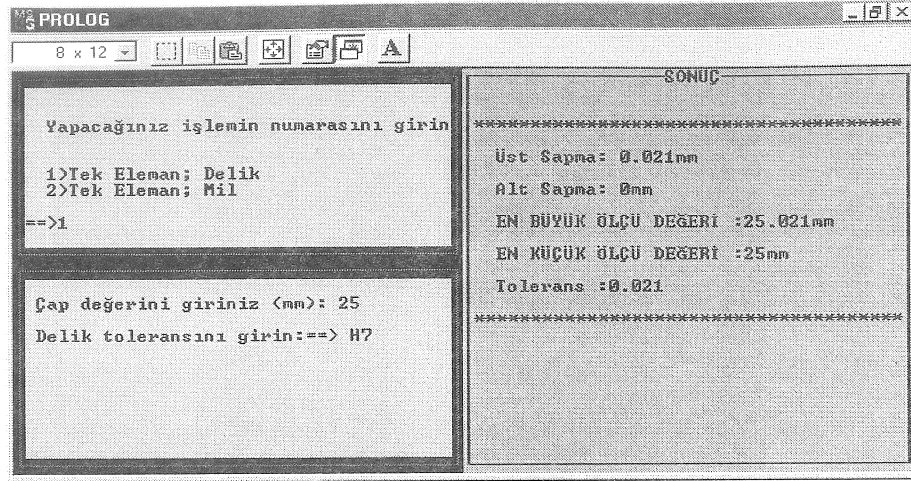
ve standartlarda mevcut olan tablolardan (DIN 7154T1, DIN 7155T1, TS 1845-1, TS 1845-2) faydalanılarak PROLOG diline çevrilmiştir [1, 23].

Ana menüden son olarak 7 nolu işlem seçildiği zaman toleransı verilmeyen uzunluk ve açı ölçüleri için genel toleranslar elde edilir. Şekil 13' de görülen menünün sol tarafındaki ilk pencereden uzunluk/açı ölçüsü seçimi istenir. Seçim yapıldıktan sonra ikinci pencerede parça sayısı, tolerans sınıfı ve parça uzunlukları istenir. Bu değerler girildikten sonra tolerans hesabı sağ taraftaki pencereden verilir.

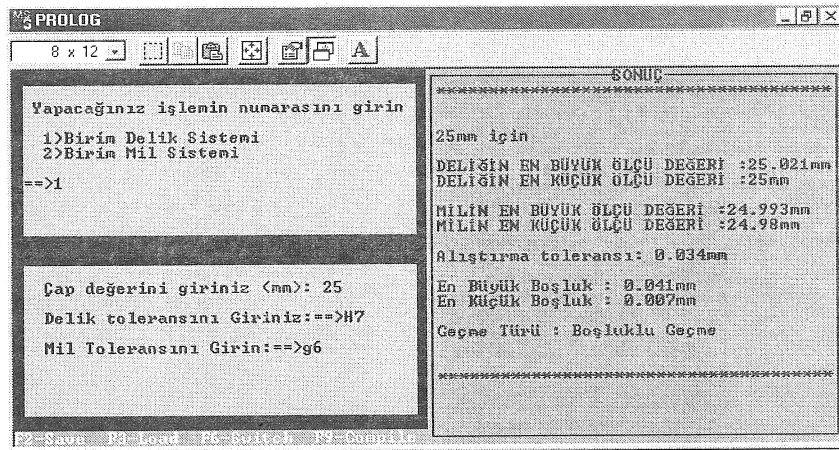
Bu konuda daha önce Ateş ve Coğun [2] tarafından dBASE IV ile yapılan çalışmada kullanım alanının, alıştırma derecesine, imal usulüne, eleman çiftinin geçme durumuna ve tek bir elemana göre tolerans tayini veya önerileri yapılmıştır. Bizim bu çalışmamız PROLOG dili ile geliştirilen uzman sistemle yapılmış ve bu seçenekler genişletilmiştir. Burada farklı olarak Şekil 5' de görülen üçüncü seçenekte, girilen üretim yönteminin olası tolerans kalitesi, yüzey kalitesi ve girilen üretim yönteminin alternatif yöntemi verilmektedir (Şekil 8). Bunun yanında Şekil 5'de uzunluk ve açı ölçüleri için genel tolerans tayini seçeneği eklenmiştir. Bu seçenekte montajı oluşturacak parçaların toleransları ve montaj parçasıyla ilgili varsa açı ölçülerinin toleransları da şekil 13' de görüldüğü gibi tayin edilebilmektedir. Ayrıca geriye doğru zincirleme yöntemi kullanılarak çap ve sapma değerlerinden tolerans kaliteleri, max.-min. çapları ve tolerans gibi ara bilgileri verebilmektedir.



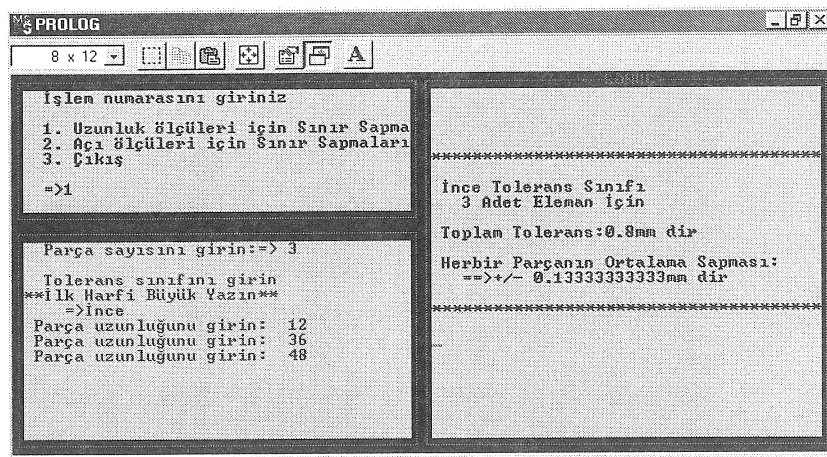
Şekil 10. Eleman çiftinin geçme türünü belirleyen alt menünün görüntüsü.



Şekil 11. Tek eleman toleransını belirleyen alt menünün görüntüsü.



Şekil 12: Eleman çiftinin geçme türünü belirleyen alt menünün görüntüsü.



Şekil 13. Uzunluk ve açılı ölçüleri için sapma değerleri.

Bu çalışmada üretim yöntemleri, yüzey kaliteleri ve toleranslar arasındaki ilişkileri içeren bir uzman sistem programı geliştirilmiştir. Eş çalışan parçaların işlevlerini en iyi şekilde gerçekleştirmesi için yüzey kaliteleri ve toleranslar önemli bir paya sahiptir. Bu nedenle toleranslar ve yüzey kaliteleri tecrübelerle dayanılarak tablolaştırılmış ve standartlarda yer almıştır. Tasarım safhasının son basamağı olan toleranslandırma basamağında bu tablolar sıkça kullanılmaktadır. Özellikle bir çok parçanın montajıyla oluşan ürünlerde toleranslandırma aşaması son derece önem kazanmakta ve dolayısıyla söz konusu tablolara ihtiyaç duyulmaktadır. Standartlarda ve kitaplarda yer alan bir çok bilgi ve çok sayıda tabloların kullanımı; tolerans, yüzey kalitesi ve üretim yöntemlerinin seçimini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle tasarımcıların bu tablo ve kitap bilgilerini kullanırken hata yapma olasılıkları vardır. Ayrıca deneyimli tasarımcılar için bu tabloları kullanmak zaman alıcı olabilir. Oysa günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi yardımıyla kullanıcı hatası ve zaman kaybını birçok uygulamada ortadan kaldırmaktadır.

Bu çalışmada da tolerans seçimi, bu toleransın elde edilebileceği yüzey kalitesi ve üretim yöntemi seçiminde yaşanan sorunları gidermek için bir uzman sistem programı yazılmıştır. Tolerans tablolarında belirtilen değerler ve bu değerleri seçmek için gereken kriterler PROLOG dilinde "gerçekler ve kurallar" a dökülerek bir program geliştirilmiştir. Oluşturulan bilgi tabanı ile konusunda uzman olmayan kullanıcılara tolerans seçme, tolerans analizi, yüzey ve tolerans kalitelerini; bunların üretimi için üretim yöntemini ve alternatif üretim yöntemini belirlemek gibi işlemlerde herhangi bir tablo veya katalog gerektirmeden yardımcı olmaktadır. Geliştirilen uzman sistem programının kullanımı oldukça basit olduğu için tecrübesiz tasarımcıların hata yapma olasılığını azaltmakta ve tüm tasarımcılar için zamandan tasarruf sağlamaktadır. Tasarım safhasında yapılan hatalar ve gereksiz zaman kayıpları üretim maliyetlerini artırıcı etkiye sahiptir. Geliştirilen uzman sistem programının kullanılması, tasarım aşamasının toleranslandırma safhasında meydana gelebilecek hatalardan ve zaman kaybından dolayı artan üretim maliyetlerini azaltacaktır.

Geliştirilen program genel amaçlı olarak hazırlanmıştır. Uzman sistemin herhangi bir atölye için uygulanması durumunda üretim faktörleri, ölçme faktörleri ve insan faktörleri göz önüne alınarak bilgi tabanı yeniden düzenlenebilir. Ayrıca ürün tasarımında diğer bir önemli konu olan geometrik ölçülendirme ve toleranslama başka bir araştırma konusu olduğundan bu çalışmada göz önüne alınmamıştır.

In the presented study, an expert system program has been developed for tolerance selection. As a programming tool, PROLOG programming language is used and the validation of the program is tested. The program which works with users interactively, presents value and features of wanted criteria by establishing logical relations with data about tolerance, surface quality, manufacturing methods, and fitting types.

Keywords: Dimensional Tolerance, Surface Quality, Production Method, and Expert Systems

KAYNAKLAR

1. Akkurt, M., Kalite Kontrol, Birinci Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2002.
2. Ateş, B. ve Çoğun, C., Bilgisayar Yardımıyla Tolerans Seçimi Kavramı ve Eğitim Amaçlı Bir Tolerans Seçimi Yazılımı, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 2 (1995) 5,187-199.
3. Karabay, M., Tasarımda Geometrik Ölçülendirme ve Toleranslama, MATİM, Makina Tasarım ve İmalat Dergisi, 4 (2001) 1, 20-32.
4. Levesque, B., A Continuous Tolerance System, Precision Engineering, 19 (1996), 19-27.
5. Irani, S.A. Mittal, R.O., Lehtihet, E.A., Toleranced Charts Optimization, International Journal of Production, 27 (1989) 9, 1531-1552.
6. Weil, R., Integrating Dimensionin and Tolerancing in Computer- Aided Proses Planing, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 4 (1988) 1-2, 41-48.
7. Ji, P., Ke M. And Ahluwalia, R.S., Computer-Aided Operational Dimensioning For Process Planning, Int. J. Mach. Tools Manufact., 35 (1995) 10, 1353-1362.
8. Gerth, R.J. and Hancock, W. M., Computer Aided Tolerance Analysis For Improved Process Control, Computers and Industrial Engineering, 38 (2001),1-19.
9. Pan, Y.R. and Tang, R, Computer-Aided Tolerance Charting for Products with Angular Features, Int. J. Adv. Manuf. Technol 17 (2001), 361-370.
10. Tucho, R., Sierra, J.M., Vijande, R. and Moris, G., Expert tutoring system for teaching mechanical engineering", Expert Systems with Applications, 24 (2003), 415-424.
11. Kobu, B., Endüstriyel Kalite Kontrolü, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Yayınları No: 113, İstanbul, 1981.
12. Groover, M.P., Fundamentals of Modern Manufacturing, Prentice-Hall International, Inc., 1996.

13. Pham, D.T. and Ji, C., A Concurrent Design System for Machined Parts, Proc. Inst. Mech. Engrs., Vol:213 Part B, 841-846,1999.
14. TS 5414, Tolerans Sistemleri- Makine İmalatında Kullanılan Alıştırılmalar, Tolerans Bölgeleri ve Anma Boyutları, Aralık 1987.
15. TS 1980-1, Genel Toleranslar-Bölüm:1- Toleransı verilmemiş Uzunluk ve Açılı ölçüleri için Toleranslar, Temmuz 1995.
16. Bağcı, M. ve Bağcı, C., Temel Teknik Resim- Cilt I, Baylan Basım ve Ciltevi, Ankara, 1973.
17. Şen, İ. Z. ve Özçilingir, N., Temel Teknik Resim, Ders Kitapları Anonim Şirketi. İstanbul, 1999.
18. Kalpakian, S., Manufacturing Engineering and Technology, Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
19. Çev.Ö.Kulaksız, Metal Mesleğinde Tablolar, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000.
20. Akkurt, M., Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Talaşlı İmalat, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1998.
21. Waterman, D.A., A Guide to Expert System, First Edition, Addison-Wesley Publishing Company,1986.
22. Allahverdi, N., Uzman Sistemler: Bir Yapay Zeka Uygulaması, Birinci Baskı, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002.
23. Akkurt, M., Makina Elemanları, Cilt I, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1990.
24. Giarratano, J. and Riley, G., Expert Systems Precibles and Programing, PWS-KENT Publishing Company, 1989.
25. Turban, E., Decision Sypport and Expert Systems, Macmillan Publishing Company, 1988.

Ergun Ateş
Y.Doç.Dr.

Makine Mühendisliği Bölümü
Mühendislik Mimarlık Fakültesi
Balıkesir Üniversitesi
10145, Balıkesir

Epoksi ve Polyester Reçineli Polimer Betonda Granülometri ve Bağlayıcı Oranları Değişimiyle Eğilme Dayanımı Optimizasyonu

Polimer betonlar, farklı iki veya daha fazla malzemeden oluşmuş kompozit malzemelerdir. Dolgu malzemesi, reçine, sertleştirici, hızlandırıcı, matris yapıya takviye malzemeler bileşenlerdir. Bir tezgah için gövde veya herhangi bir uygulama alanına yapı elemanı olarak düşünüldüğünde, hedef doğrultusunda farklı bileşimler hazırlanır. Yapı çalışma etkilerine dayanabilmelidir. Ancak mekanik özelliklerde hedeflenen sonuçları verebilen kompozitler kullanılabilir. Gevrek malzemelerin eğilme deneyi sonucu, eğilme dayanımı değerleri hesaplanabilir, kesin mukavemet değerleri belirlenebilir. Çalışmada, standart çimento betonu granülometri eğrileri üzerinde tasarlanmış farklı agrega dağılımı ve bağlayıcı oranlarına göre eğilme dayanımı değişimi araştırılmıştır. Bağlayıcı olarak polyester ve epoksi reçine, dolgu malzemesi olarak kuvars kullanılmıştır. Eğilme dayanımının, granülometri dağılımı ve reçine oranlarıyla tiplerine bağlı olarak değiştiği belirlenmiş ve karışım optimizasyonunun yapılabileceği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Polimer matrisli kompozitler, mekanik özellikler, mekanik testler, termoset reçineler, eğilme dayanımı.

GİRİŞ

Portland çimento bağlayıcılı beton tüm dünyada bilinen ve oldukça geniş bir kullanıma sahip yapı malzemesidir. Genelde iyi basma dayanımına sahip olup düşük maliyetlidir. Fakat kötü eğilme, çekme dayanımı, yüksek porozite, uzun sertleşme süresi, büzülme, sünme, nem hassasiyeti, kimyasal v.b. aşındırıcılardan etkilenme olumsuz yönleridir. 1. Dünya Savaşı yıllarında metal malzemelerin teminindeki zorluklar nedeniyle, takım tezgah gövde imalatında dökme demir ve kaynak konstrüksiyon yerine çimento betonu önerilmiştir. Çimento betonunun termik stabilitesi metalik malzemelere göre oldukça yüksektir, fakat olumsuzlukları nedeniyle tezgah gövdesi olarak kullanımında bir gelişme olmamasına rağmen, yüksek kalitede birleşim arayışlarıyla çalışmalar sürmüştür [1,2,3].

Makine ve tezgah konstrüksiyonlarında geleneksel gövde malzemesi olarak kullanılan dökme demir ve çelik malzemeler geçerliliğini korumasına rağmen, çimento betonu sonrası 1970 li yıllara kadar tezgah gövdesi olarak kullanılabilen yeni malzeme arayışları devam etmiştir. Özellikle suni reçinelerdeki gelişmeler sonucu oluşturulan yeni beton terkipleri tezgah gövdeleri imalatı için de alternatif bir

malzeme olarak ortaya çıkmıştır. Epoksi reçineyle ilgili çalışmalar, epoksi reçineli polimer beton kompozitleriyle ilgili araştırmaların başlamasına neden olmuştur [4]. İnşaat mühendisliğinde portland çimentolu betonun dayanımı ve olumsuz yönlerindeki iyileştirmeler ve diğer yandan polimerlerdeki gelişmeler ve bunların beton teknolojisiyle birlikte kullanımıyla ilgili oldukça önemli ilerlemeler sağlanmıştır [5].

Betonda yeni gelişmeler, polimer (veya çimentolu) harçlar PMM ve betonlar (PMC), polimer harçlar (PM) ve betonlar (PC), polimer emdirilmiş harçlar (PIM) ve beton (PIC) tipleri tanımlanmıştır. Bu tiplerin geliştirme çalışmaları, uygulama alanları, üretimleri anlatılmış, endüstriyel uygulamaları ve standartları açıklanmıştır. Polimer betonun yapılarada onarım, yapı elemanı veya bir mimari bileşen olarak uygulanması gibi, yeni değişik uygulama arayışlarının da süreceği ifade edilmiştir [6,7,8,9,10]. Beton numunelerin imal yöntemleri, basma, eğilme ve çekme dayanımları için test metodları, polyester reçineli betonların çalışma ömürleriyle ilgili, Japon endüstri standardı JIS kapsamında çalışmalar yapılmıştır [11]. MMA (metil metakrilat) esaslı monomer ve bileşenlerin farklı oranlarıyla numuneler 38°C, 21°C ve -1°C sıcaklıklarda üretilmiştir. Bu

numunelerin farklı test ortamı sıcaklıklarındaki eğilme dayanımı, basma dayanımı elastisite modülü, kemikleşme süreleri incelenmiştir [12]. Polimer beton PC, polimer çimento betonu PCC ve polimer emdirilmiş betonlar PIC şeklinde sınıflandırma yapılarak, yapıları açıklanmıştır. Yapı malzemelerine olan yeni talepler ve gelişmeler patent çalışmalarının olduğu ülkelerdeki çalışmalar incelenmiştir. Mekanik özelliklerle ilgili olarak, epoksi ve polyester reçineli betonların dayanımlarıyla ön plana çıktığı belirtilmiştir [13].

Epoksi reçine ve granit agrega karışımı bir yapı ile dökme demir numuneler değişik yüklerle eğilmeye zorlanmış ve sehim değerleri incelenmiştir. Granit esaslı gövdenin dökme demire nazaran daha düşük eğilmeye gösterdiği belirlenmiştir [14]. Bir torna tezgahında, gövdedeki titreşim ve ses oluşumunun etkileri kaynak konstrüksiyon, çimento betonlu ve polimer beton yapılardan oluşturulmuş modeller üzerinde çalışılmıştır [15]. Talaşlı imalat tezgahlarında gövde elemanı olarak epoksi EP, metilmetakrilat MMA ve ürefoaldehyd UP reçineli polimer beton malzemeler, beton, kaynaklı yapı ve dökme demire göre kıyaslanmış [16], makine yapı elemanı olarak mekanik özellikleri için çalışmalar yapılmıştır [17]. Polimer betonlarda teknolojik gelişmeler [18], polimer betonun üretim teknolojisi ve polimer beton yapıli makineler üzerindeki çalışmalarla elde edilen sonuçları [19], polyester harçlarla ilgili basma ve eğilme dayanımı, elastisite, büzülme ve sülfirik asitle etkileşimleri incelenmiştir [20].

Polimer betonlarda, matris yapı, ince veya kaba taneli agrega tipleri, bağlayıcılar ve kalıp boşluğundaki dağılım, gevşek veya sıkı bir yapı oluşumu, karışım oranlarının optimizasyonu gibi çalışmalar yapılmıştır [21,22,23,24,25]. Reçine ve dolgu malzemeli polimer beton harçların hazırlanması, döküm numuneleri, basma dayanımı çalışması için standart teknikler verilmiştir [26]. Polimer beton, içeren polimerik bağlayıcı, agrega v.b. kompozit bileşenlerin değişken dağılımıyla, özellikleri yüksek oranda değiştirilebilir bir malzemedir. Polyester ve epoksi reçineli polimer betonlar için güvenilir, karışımlara uygun işlem değişiklikleriyle, optimizasyon için tahmini bir matematiksel model sunulmuştur [27].

Literatürden, özellikle yapı malzemeleri ve mekanik özellikleriyle ilgili yapılmış çalışmalara değinilmiştir. Farklı isteklere uygun birçok çalışma olduğu da görülmektedir. Uygulamalar kendilerine özgü birtakım şartların oluşumunu gerektirir. Bunlar ortam, etkiyen yükler, kullanımdaki istekler ve malzemeyle ilgili özellikler veya mekanik, fiziksel, kimyasal, optik, v.b. sıralanabilir. Kullanılacak bir malzemenin diğer bir uygulama alanındaki sonuçları farklı olabilir. Polimer betonun özellikleri, yapısındaki her bir bileşenin cinsi, şekli, miktarı,

üretim yöntemi farklılaştığında, büyük oranda değiştirilebilmektedir. O halde üretimi düşünülen elemanla ilgili tüm şartların ve pratikte karşılaşılabilecek değişikliklerin dikkate alınarak en uygun çözüm ile malzemenin hazırlanabilmesi önemlidir. Karışımı oluşturan her bir bileşenin kendisine has özellikleri, birleşim sonucu oluşmuş yapıda kısmen yansıtılmış olacaktır [28].

DENEYSEL ÇALIŞMA

Yapıdaki dolgu malzemelerinin tane büyüklüğü dağılımının hazırlanmasında iki şekilde davranılabilir. Birincisi feret üçgeni olarak bilinen ve malzeme dağılımını üç gruba ayırarak ince, orta ve kaba şeklinde sınıflandıran yöntemdir. Bu sınıflandırmada değerlendirme, ilgili aralıkta birçok tane büyüklüğünü içerecek şekildedir. İkincisi ise, granülometrik birleşim tayini TS706 ile verilmiş agregaların tane büyüklüğü dağılımıdır. Bu durumda değişik tane büyüklüklerinin küçük aralıklarla gruplandırılmasıyla, daha iyi değerlendirme imkanı olabildiğinden, çalışma için tercih edilmiştir.

Standart çimento betonu granülometri eğrileri üzerinde, ideal bölgede ve etrafında, tasarlanmış ve çizilmiş ilave yeni eğrilerle, mevcut standart aralıkları daha da daraltacak şekilde, toplam yedi farklı agrega dağılım eğrisi belirlenmiştir. Bu dağılım dikkate alınarak, epoksi reçineli kompozit numunelerin eğilme dayanımı çalışma sonuçları açıklanmıştır [29].

Çalışmada reçine olarak polyester alınmıştır. Açıklanan tasarlanmış granülometrik dağılım eğrilerine göre farklı oranlardaki dolgu malzemesi ve bağlayıcı oranlarıyla, polyester reçineli polimer beton kompozit numuneler hazırlanmıştır. Yapı malzemesi eğilme dayanımları araştırılarak, epoksi ve polyester reçineli sonuçları karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

POLİMER BETONDA MALZEME VE METOT

Polimer beton malzemelerde farklı birçok reçine kullanılmaktadır. Çalışmalarda epoksi ve polyester reçine kullanımı oldukça yoğundur. Bu nedenle çalışmada da epoksi reçine ve polyester reçine tercih edilmiştir. Epoksi reçine oda sıcaklığında sıvı halde bulunan ve sertleştirici ile katı halini alan iki bileşenli bir termosettir. Düşük vizkoziteleri nedeniyle iç gerilme ve çatlak oluşmaksızın düşük sıcaklıkta katılaşabilirler. Çalışmada, epoksi harçlar ve epoksi beton olarak ve diğer birçok uygulama alanına yönelik tipleri olan, epoksi reçine ve uygun sertleştirici kullanılmıştır¹. Yaklaşımımıza uyan, en iyi basma ve eğilme dayanımı vereceği düşünülen ve ayrıca pota ömrü de dikkate alınarak reçine

¹ Schering AG, Almanya.

“Europox730” ve sertleştirici “XE305S” seçilmiştir [30, 31, 32].

Polyester reçine, etilen veya propilen glikol gibi bir alkol ile maleik veya fumarik asit gibi bir asidin kondenzasyon polimeridir. Bir alkolün OH grupları ve bir asidin H atomu birbiri ile reaksiyon yapar ve su ayrışırsa asidin serbest valansları yardımıyla birleşen alkol artığı, ester oluşturur. Asit ve alkol doymuş ve iki işlevsel gruplu ise, termoplastik bir üründür ve doğrusal polyester elde edilir. İkisi de çift işlevsel gruplu fakat biri doymamışsa veya ikisi de doymuş fakat biri üç işlevsel gruba sahipse çok sayıda çift bağlı makro moleküller oluşur. Bu halde kuvvetli bir ağ yapısıyla termoset bir polimer oluşur. Sertleşmenin derecesi, hızı, hızlandırıcı yardımıyla kontrol edilir ve katalizör de kullanılabilir. Oda sıcaklığında katılaşabilen en ucuz reçinedir. Koku, büzülme, büyük hacimlerde yüksek egzotermik reaksiyon, önceden hassas şekil verme zorluğu, imalatta iç gerilme oluşumu ve epoksiye göre yapışma yeteneğinin düşük olması, dezavantajlardır. Çalışmada polyester reçine olarak, “Dyo Dewester doymamış polyester döküm tipi 511-0735, sertleştirici ve hızlandırıcı”² alınmıştır. Reçine ve sertleştiriciler için karakteristik özellikleri standartlarda verilmiştir. ASTM D1652-67 “epoksi reçine değeri”. DIN16945 “amin değerleri”. DIN51757 “yoğunluk tayini”. DIN51758 “parlama noktası”. DIN50014 “jelleşme zamanı”.

Katılaşma basınca gerek kalmadan oda sıcaklığında birkaç dakikadan birkaç saate kadar sürebilir. Belirli bir reçine için en uygun sertleştirici ve bunların karışım oranlarının bilinmesi polimerizasyonun tam olarak sağlanabilmesi için gereklidir. Çalışmalarda katkısız maksimum % 30 ‘a kadar reçine oranları verilmiştir. Dolgu malzemeleri ile reçinelerin yapışma özellikleri son derece önemlidir. Maliyetin düşürülmesi, sertlik, mukavemet, sıcaklık, ışığa dayanım, viskozite, kimyasal direnç, elektriksel direnç, iletkenlik v.b. özellikler iyileştirilebilir. Dolgu malzemesinin doğal, öğütülmüş veya sentetik olma halleri özellikleri etkilemektedir. Dolgu malzemesi çok temiz, kuru ve yeterli mukavemette olmalı, reçine ve sertleştiriciyle reaksiyon oluşturmamalıdır. Dolgu malzemesinin oranı maksimum ağırlığın % 90 ‘ına kadar alınabilir [33]. Polimer beton özellikleri tane dağılımından etkilendiğinden iyi bir granülometri ile yüksek dayanım sağlanabilir. Hava boşluğunu en aza indirmek ve sık bir yapı elde edebilmek için farklı agrega boyutları bir arada tutulmalıdır. Bunun için süreksiz granülometri de kullanılabilir.

Üretim esnasında hava kabarcıklarının çıkışı sağlanıp boşluksuz bir yapı oluşturulabilirse daha dayanımlı ürünler elde edilebilir. Dolayısıyla vibrasyon önemlidir. Kullanım rahatlığı nedeniyle

“masa tipi vibratör” kullanılmıştır. Şaseye rijit bağlı elektrik motoru milindeki dönüşün (600 dev/dak) eksantrik parça aracılığıyla, şaseye esnek bağlı masaya iletilmesiyle çalışmaktadır. Vibrasyon, dökümde epoksi için 30 dak. pota ömrüne göre jelleşme başlamadan önce 15 dakika süreyle uygulanmıştır. Polyester reçine için ise jelleşme zamanı 10 dak olup vibrasyon daha kısa sürelidir. İç gerilmelere dikkat ederek düşük sıcaklıkta katılaşırken kontrollü baskı kuvveti de oldukça önemlidir, fakat burada uygulanmamıştır.

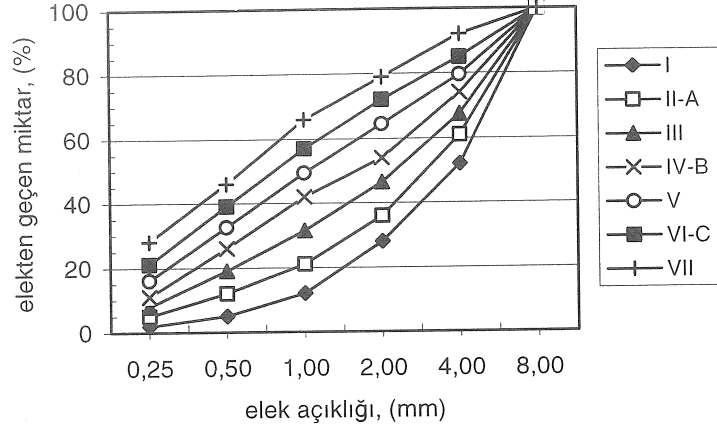
İncelemelerde genelde agrega olarak önerilen, özellikle epoksi reçineyle daha iyi yapışabilen ve dayanımı da oldukça iyi olan kuvars, çalışmamız için dolgu malzemesi olarak seçilmiştir [34]. Kuvars, elek analizi yapılmak üzere 12 mm tane büyüklüğüne kadar farklı gruplarda öğütülmüş halde alınmıştır³. Temin edilen agrega, yapılacak çalışma için belirlenen standart tane büyüklüklerinde grupların hazırlanabilmesi için gerekli olan deney elekleri takımı, elek analiziyle, tel kafesli kare göz açıklıklı elekler ve elek sarsma makinesi kullanılarak 0.25, 0.50, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0 mm tane büyüklüklerinde, TS1226, TS1227, TS130, TS706 standartlarına uygun olarak, gruplara ayrıldılar.

Şekil 1 ‘de, maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm temel alınarak tasarlanmış I ‘den VII ‘ye karışık agrega granülometri eğrileri verilmiştir. Tablo 1 ‘de ise, granülometrik dağılım için belirlenen 7 grubun, elekten alta geçen dolgu malzemesi miktarları (%) olarak verilmiştir. Standart granülometri eğrilerinde, elek analizi yapılan numuneler tane dağılım oranları A ve B eğrileri arası agrega dağılımının çok iyi, A ve C eğrileri arasında ise kullanılabilir olarak tanımlanmaktadır [35]. Buradan, Şekil 1 ‘deki tasarımı eğrilerimizde ise II, IV ve VI nolu eğrilerimiz sırasıyla standart A, B, C eğrilerine, I ideal bölge altı, III ideal bölge arası, V kullanılabilir bölge arası ve VII ise kullanılabilir bölgenin üstü olarak çizilmişlerdir. Bu halde granülometrik dağılımda I den VII ye tüm bölgelerdeki farklı tane dağılımı ve reçine oranlarıyla birlikte üretimimiz kompozit malzeme için eğilme dayanımının değişimi incelenecektir.

Nemin alınması için 250°C etüv, 0.5 gr. hassasiyetli tartı, toz ve gaz maskeleri, uygun filtreler, saç toplama kapları, plastik tekneler, plastik ölçü kapları, tel fırça, kürek, mikser, mala, spatula, plastik eldivenler, çalışma elbiseleri, atıkları temizlemek için uygun çözücü kimyasallar gerekli ekipmanlardır. Çalışmada, ince ve kaba taneli kuvars dolgu malzemeleri etüvde değişmez ağırlığa ulaşınca kadar (TS130 ‘a uygun 110 ±5°C ‘da) bekletilerek, nemleri alındı.

² Dyo, Dilovası Mevkii, Gebze, Kocaeli.

³ Ak-İş Madencilik, Nazilli.



Şekil 1. Maksimum tane büyüklüğü 8.0 mm kuvars için, I`den VII`ye karışık agrega granülometri eğrileri.

Tablo 1. Granülometri dağılım için belirlenen yedi grubun, elekten alta geçen kuvars dolgu malzemesi miktarları (%).

elek no (mm)	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
8	100	100	100	100	100	100	100
4	52	61	67.5	74	79.5	85	92
2	28	36	46.5	54	64.5	72	79
1	12	21	31.5	42	49.5	57	66
0.5	5	12	19	26	32.5	39	46
0.25	2	5	8	11	16	21	28

Eğilme deneyleri 3 nokta eğme şeklinde uygulanmıştır. Eğilme deney numune boyutu ve deney standardı, polimer beton ve uygulamaları için DIN51290-Bölüm3, TS3068, TSEN12390-5 dikkate alınarak, maksimum 8 mm taneli dolgu malzemesi, polyester reçineli kompozit için 40x40x160 mm olarak belirlenmiştir. Döküm aşamasında her parametre etkilidir. Dolayısıyla karışım harcının hazırlanmasında, tasarım yapımıza uygun ön çalışmalarda, bağlayıcının dolgu malzemesini herhangi bir katkı malzemesi kullanılmadan tam anlamıyla ıslatabildiği en küçük ve üzeri oranlar araştırıldı. Buradan polyester reçine için %14, %15, %16, %17, %18, %20, %22, %24, %26, %28, çalışma bağlayıcı oranları olarak belirlendi. Dolgu malzemesi kuvars ise bağlayıcı dışında kalan diğer bileşendir. Açıklanan % oranlar, çalışmada ağırlık olarak kullanılmıştır.

Reçine üreticisi, DIN1164 'e uygun 0-0.2 mm ve 0.6-1.2 mm kuvars karışımıyla yaptığı dolgu malzemesi ve epoksi reçineli (%12-%17) çalışmada, %14.3 oranıyla, en büyük eğilme

dayanımı değerini 30 N/mm^2 olarak vermiştir [32]. Epoksi reçine için %14.3, %18 ve %22 reçine oranları, açıklanmış çalışma ve katkısız ıslatılabilir denemeleri de dikkate alınarak, seçilmiştir. Epoksi reçineli çalışmada, "dönen eğilme gerilmeli yorulma deneyleri" hedeflenerek, $\text{Ø}40 \times 100$ mm boyutlu numunelerle kullanılmıştır. Ayrıca eğilme dayanımı için, aynı numuneye ankastre bağlı olduğu halde, kırılma gerçekleşinceye kadar sürekli artan yük uygulaması ile çalışılmıştır. Burada yapılmış epoksi reçineli çalışma sonuçları [29], polyester reçineli numune boyutu farklı olsa da, eğilme dayanımını daN/mm^2 olarak birim kesitteki yük ile kıyaslayabilme adına anlamlıdır. Bu sayede epoksi reçine ile burada çalıştığımız polyester reçine bağlayıcı arasındaki eğilme dayanımı değişimi için, değerlendirilebilecek veriler elde edebiliriz.

Çalışmamızda, plastik kestamit malzemeden imal kalıplar pratik ve çok daha iyi sonuçlar verdiğinden tercih edilmişlerdir. Kalıp ayırıcı, temiz yüzeyleri kaplayacak şekilde birkaç kez uygulandı. Kalıp yüzeyleri, uygulamadan 15~30 dakika bekledikten

sonra, parlatılarak kullanıma hazır hale getirildi. Kalıp ayırıcı malzemeler çözelti halde sıvı polivinilalkol PVA, polivaks SV-6, veya PVA bant uygulamaları olarak gereken yerlerde kullanılmıştır.

Deney numuneleri, açıklanmış bağlayıcı oranları ve granülometri dağılım gruplarındaki her bir nokta için, 3'er adet olmak üzere, polyester reçine için toplam 210 adet ve epoksi reçine için ise toplam 63 adet olarak hazırlanmıştır. Döküm sonrasında malzemenin kemikleşmesi 2 saatte tamamlanmasına rağmen 24 saat sonra kalıptan alınmışlar ve tüm numuneler basma deneylerine kadar toplam 21 gün oda sıcaklığında bekletilmişlerdir. Eğilme deneyleri "EL31-3275/01 ADR2000 Ele Int. Ltd. İngiltere, basma- eğilme" deney makinesinin eğilme test aparatı bölümü ile yapılmıştır.

SONUÇLAR

Epoksi ve polyester reçineli numunelerin eğilme deneyleri sonucu etkiyen yük "daN" ve gerilme değerleri N/mm^2 olarak verilmiştir. Reçine oranları ve granülometri dağılımına göre yükler tablo halinde, eğilme gerilme değerleri ise grafik halde sunulmuştur. Deney sonucu her bir nokta için elde edilmiş 3 eğilme yük değeriyle, eğilme gerilmeleri hesaplanmış ve bunların ortalamaları alınarak, standart sapmalarıyla birlikte, epoksi ve polyester reçineler için tablo olarak verilmiştir. Bu, yük değerlerindeki değişik dağılımın standart sapma olarak eğilme gerilmesine etkisini görme açısından yararlıdır.

Epoksi Reçine

Tablo 2 'de, epoksi reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre hazırlanmış numunelerin eğilme yük değerleri verilmiştir [29]. Tablo 3 'de, epoksi reçine oranları ile granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm^2) ve standart sapma değerleri verilmiştir. Şekil 2 'de ise tüm numunelerin epoksi reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre, eğilme gerilmesi değişimleri grafik olarak verilmiştir [29].

Tablo 2 'de, her bir epoksi reçine oranı dikkate alınarak I 'den VII 'ye gruplara göre yükler incelendiğinde, A-C arası düşük reçine oranlarında yükselen ve düşen değerler görülürken, reçine miktarı artışı ile eğriler yataya yakın bir oluşum gösterecek şekilde gelişmiştir. Her bir grup kendi içerisinde artan reçine oranlarına göre incelendiğinde, artan reçine oranlarıyla yük değerleri artmıştır. Çalışmada artan reçine oranlarıyla, artan yük değerleri elde edilememiştir. Reçine oranı % 22 burada dönüş noktası olmuştur. Dolayısıyla düşük dayanım değerleri verdiği için, bu oranın üzerindeki oranlarda çalışılmamıştır.

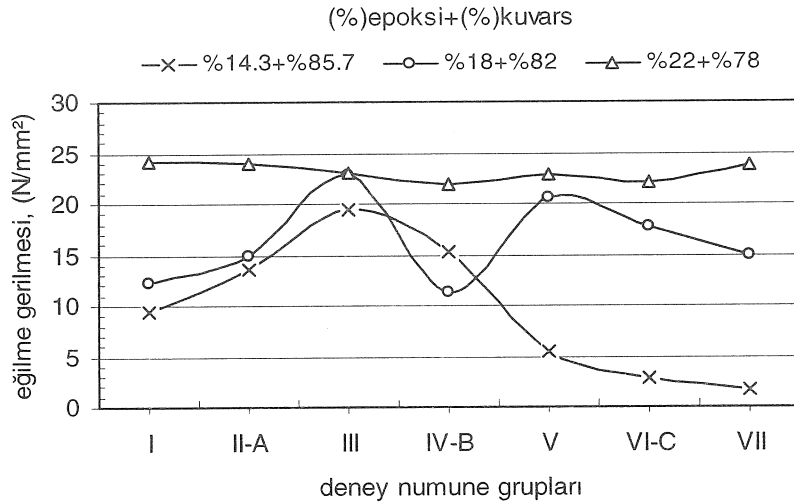
Tablo 3 'de, epoksi reçine için eğilme gerilmeleri ortalaması ve standart sapma değerleri verilmiştir. Eğilme gerilmesi dağılımı, test numune boyutları aynı olduğundan, yük değerlerinin dağılımıyla benzer eğilimdedir. Tüm noktalarda reçine oranları veya gruplar dikkate alınarak standart sapma değerleri 0.23-4.17 arası artan veya azalan şekilde değişim gözlenmektedir.

Tablo 2. Epoksi reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ve I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme yük değerleri (daN) [29].

(%epoksi+(%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14.3 + %85.7	68	90	120	95	37	22	12
	60	90	140	95	37	17	9
	55	80	115	102	32	16	10
%18 + %82	81	87	134	81	121	114	81
	76	87	128	81	128	127	106
	77	113	177	56	145	101	101
%22 + %78	157	150	157	135	120	160	160
	150	157	155	138	157	123	130
	157	155	130	147	160	140	165

Tablo 3. Epoksi reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ile I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm²) ve standart sapma değerleri.

(%epoksi+(%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14.3 + %85.7	9.52	13.53	19.52	15.20	5.52	2.86	1.61
	1.02	0.90	2.07	0.63	0.45	0.50	0.24
%18 + %82	12.18	14.94	22.85	11.35	20.51	17.80	14.99
	0.41	2.34	4.17	2.25	1.93	2.03	2.07
%22 + %78	24.15	24.04	23.00	21.86	22.74	22.01	23.68
	0.63	0.56	2.35	0.97	3.48	2.89	2.96



Şekil 2. Epoksi reçine (%) + kuvars dolgu malzemesi (%) ile üretilmiş tüm numuneler ve I 'dan VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme gerilmesi değişimleri [29].

Büyük standart sapmalar grup I %14.3 'de 1.02, grup II %18 'de 2.34, grup III %18 'de 4.17, grup IV %18 'de 2.25, grup V %22 'de 3.48, grup VI %22 'de 2.89 ve grup VII %22 'de 2.96 değerlerini almışlardır.

Şekil 2 'den, epoksi reçine oranı %22 eğrisinde, eğilme gerilmesi en büyük değerleri grup I ile 24.15 N/mm², grup II-A ile 24.04 N/mm² ve grup VII ile 23.68 N/mm² olmuştur. Tüm eğri, 21.86-24.15 N/mm² değerleriyle dar bir bölgede neredeyse yatay bir seyir izlemektedir. Diğerleri ise III, V, VI-C, IV-B, şeklinde sıralanmıştır. Reçine oranı %18 eğrisinde, büyük değerler grup III ile 22.85 N/mm², grup V ile 20.51 N/mm² ve grup VI-C ile 17.80 N/mm² olmuştur. Diğerleri ise VII, II-A, I ve IV-B ile sıralıdır. Reçine oranı %14.3 eğrisinde, büyük değerler grup III ile 19.52 N/mm², IV-B ile 15.20 N/mm² ve II-A ile 13.53 N/mm² olmuştur. Diğerleri, I, V, VI-C ve VII ile sıralıdır. Granülometri dağılımını veren eğrilerde A-B ve B-C eğrileri arası kullanılabilir diyebiliriz.

Polyester reçine

Tablo 4 'de, polyester reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre hazırlanmış numunelerin eğilme yük değerleri verilmiştir. Tablo 5 'de, polyester reçine oranları ile granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm²) ve standart sapma değerleri verilmiştir. Şekil 3 'de ise tüm numunelerin polyester reçine oranları ve granülometri dağılım gruplarına göre eğilme gerilmesi değişimleri verilmiştir. Şekil 3 'de özellikle eğilme gerilmesinin 19-21 N/mm² arasında yoğun toplandığı bölgeden, eğrilerin eğilimini daha net görebilmek amacıyla buraya odaklı grafiği de, şekil 4 ile verilmiştir.

Tablo 4 'de, her bir reçine oranında I 'den VII 'ye gruplar incelendiğinde düşük reçine oranlarında A-B arası, B ve B-C arası eğrilerinde yükselen eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Yükselen reçine oranlarında ise durum B-C eğrisi ve C eğrisi üzeri olarak gerçekleşmiştir. Reçine oranının artışının devamı artan yük değerleri vermemiştir.

Çalışmada bu açıdan % 22 bir dönüş noktası olarak gözükmektedir. Her bir grup, artan reçine oranlarına göre incelendiğinde, A-C arası bir yükselme olduğunu, ayrıca ince dolgu malzemesinin yoğun olduğu yapılarda özellikle dönüş noktası etrafında yüksek reçine oranlarında yine yüksek eğilme dayanımı değerleri verdiği gözlenmiştir.

Tablo 5 'de, polyester reçine için eğilme gerilmeleri ortalaması ve standart sapma değerleri verilmiştir. Eğilme gerilmesi dağılımı, test numune boyutları aynı olduğundan, yük değerlerinin dağılımıyla benzer eğilimdedir. Tüm noktalarda reçine oranları veya gruplar dikkate alınarak standart sapma değerleri 0.11-12.03 arası artan veya azalan şekilde değişim gözlenmektedir. Büyük standart sapmalar grup I %26 'da 2.10, grup II % 24 'de 2.76, grup III %15 'de 5.36, grup IV %16 'da 3.02, grup V %22 'de 12.03, grup VI %22 'de 3.14 ve grup VII %22 'de 9.41 değerlerini almışlardır.

Şekil 3 'den, polyester reçineli grup I için dağılım %24 (16.66 N/mm²), %28, %26, %22 (15.91 N/mm²) aralığında bir gruplaşma ve %20 (12.67 N/mm²), %16, %18, %17, %15, %14 (5.31 N/mm²) ile ikinci gruplaşma ile daha da azalan değerlerdedir. II-A grup için dağılım, %24 (20.28 N/mm²), %20, %28, %15, %26, %22, %16, %17, %18 (15.96 N/mm²), %14 (9.23 N/mm²) ile sıralanmıştır. Burada %14 diğerlerinden daha da uzak ve en az değerdedir.

II-A 'dan VI-C 'ye, tüm reçine oranlarını içeren, yani granülometri dağılım eğrileri arası ideal ve kullanılabilir olarak tanımlanmış bölümdür. Grup III 'de eğriler, %24 (23.33 N/mm²), %26, %16, %17, %22, %15, %28, %20, %18, %14 (17.60 N/mm²) olarak sıralanmıştır. Grup IV-B 'de eğriler, %24 (24.49 N/mm²), %26, %28, %16, %17, %20, %15, %22, %14, %18 (18.22 N/mm²) ile sıralıdır. Grup V 'de %22 (31.7 N/mm²) ve %24 (29.42 N/mm²) eğrileri oldukça yüksek değerlerle ve devamında %26 (23.81 N/mm²), %16, %28, %17, %15, %14, %18, %20 (19.674 N/mm²) şeklinde sıralandı. Grup VI-C 'de ise %24 (27.86 N/mm²), %26 (27.66 N/mm²), %28 (25.56 N/mm²) yüksek değerleriyle ve devamında %18 (24.66 N/mm²), %22, %16, %20, %17, %15 (18.81 N/mm²) ve çok azalan %14 (9.60 N/mm²) ile sıralandı.

A-C eğrileri dışında kalan VII no 'lu grup %22 reçine oranıyla (33.1 N/mm² eğilme dayanımıyla) en büyük eğilme dayanımını verdi, devamında yine oldukça yüksek değerlerle %24 (27.55 N/mm²), %26 (26.17 N/mm²), %28 (25.91 N/mm²) ile sıralanmışlardır. Takip eden eğriler %17 (25.58 N/mm²), %16 (24.34 N/mm²), %18 (24.24 N/mm²), %20 (24.01 N/mm²) ile yine yüksek değerlerdedir ve

bunlardan daha düşük değerler vermiş olan %15 (13.31 N/mm²) ve %14 (12.21 N/mm²) olarak gelişmiştir.

Şekil 4 'de, polyester reçineli yapı için 19-21 N/mm² eğilme gerilmesi değerlerinde, tüm eğriler A-C arasında toplanmıştır. Gruplara göre dağılımda eğriler bu aralıkta, yükselip alçalmaktadır. A-C dışındaki alanlarda gruplar bir değer almamıştır.

TARTIŞMA

Epoksi reçineli çalışmada, reçine oranı %22, grup I ile en büyük eğilme dayanımı değeri elde edilmiştir. Bu yapı, "iri tanelerin çok-ince tanelerin az olduğu" bir dağılımla oluşmuştur. Reçine oranındaki artışta belirli bir değer üzerinde, çimento betonu granülometri dağılımı eğrilerine göre uygun olmayan A-C dışındaki noktalarda da, bu şekilde yüksek dayanım değerleri alınabildiği gözlenmiştir. Fakat bu artış sürekli devam etmemektedir ve genelde (azalan değerlere doğru) bir dönüş noktasına karşılık geldiği ifade edilebilir. Reçine oranı %18, grup III granülometri dağılımı, çimento betonu için uygun olan A-B arası bölgededir. Yapıda, "iri taneler-ince taneler" dağılımı, (grup I 'e göre) daha düzenlidir. Aynı zamanda daha az reçine kullanımı ve (%22 reçine oranı ve grup I 'e göre) az bir eğilme dayanımı ekşiğiyle, büyük eğilme dayanımı değeri vermiştir. Benzer şekilde %18 reçine oranı, grup V granülometri dağılımı, uygun olan B-C arasındadır. Ürünü oluşturan bileşenlerde, maliyeti yüksek olan reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı olup maliyeti düşük olan kuvars dolgu malzemesidir. Çalışmada bir mali analiz yapılmamıştır fakat maliyeti az olan ürün bileşeninin fazla miktarda kullanılması ürün maliyetini azaltacaktır. Özellikle epoksi reçine, sertleştirici ve hızlandırıcı gibi maliyeti yüksek malzeme kullanımında, bu durum daha da önemlidir. Dolayısıyla, eğilme dayanımı, granülometri dağılımı ve reçine oranı avantajları ile "grup III-%18" 'inde, epoksi reçineli kompozit yapı için dikkate değer olduğu söylenebilir.

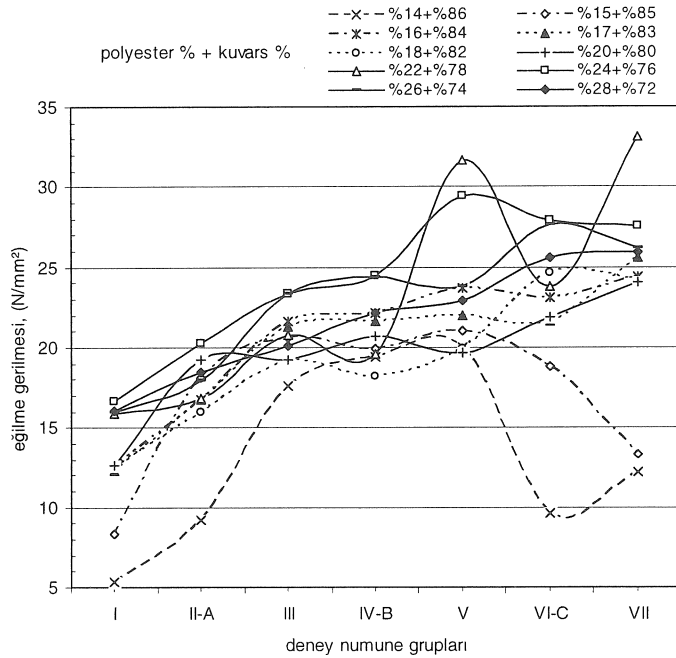
Polyester reçineli çalışmada, yüksek reçine oranlarında gruplara göre dağılımda, yapı içerisinde reçinenin dolgu malzemelerini tamamen sardığı ve uygulanmış olan vibrasyon etkisiyle de neredeyse boşluksuz bir yapı oluştuğu söylenebilir. Eğri dağılımlarında küçük düşüşler olsa da, "iri taneli dolgu malzemelerinin yoğun-ince tanelerin az olduğu" yapı grupları dışında, diğer tüm alanlarda yüksek eğilme dayanımları belirlenmiştir.

Tablo 4. Polyester reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ve I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme yük değerleri (daN).

(%)polyester+(%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14+%86	212	330	600	674	648	352	466
	206	302	598	712	792	344	438
	160	372	716	726	732	348	424
%15+%85	254	664	766	776	842	800	350
	358	704	644	702	620	632	556
	292	602	828	690	826	614	542
%16+%84	458	654	864	686	878	862	888
	494	594	790	816	848	812	916
	422	576	698	904	846	838	844
%17+%83	448	578	772	842	788	738	916
	416	604	728	748	862	860	910
	468	640	818	758	736	750	956
%18+%82	436	524	718	686	708	864	952
	462	670	706	722	702	858	826
	464	542	656	574	760	960	858
%20+%80	466	680	663	692	628	740	892
	418	705	708	826	738	800	894
	494	705	724	734	774	840	826
%22+%78	656	634	674	732	838	994	1012
	564	600	808	728	1648	794	1594
	510	600	778	672	962	800	994
%24+%76	554	646	822	874	1026	1052	808
	598	716	782	924	1070	1012	1124
	660	844	934	866	1104	966	1064
%26+%74	666	708	904	814	848	1014	954
	534	580	854	910	738	1012	930
	534	668	778	930	1004	982	962
%28+%72	616	698	716	872	896	900	910
	512	660	684	826	784	850	1006
	622	646	784	712	810	1030	902

Tablo 5. Polyester reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzeme (%) ile I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre ortalama eğilme gerilmesi (N/mm²) ve standart sapma değerleri.

(%polyester+%)kuvars	gruplar						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
%14+%86	5.31	9.23	17.60	19.42	19.97	9.60	12.21
	0.78	0.97	1.86	0.74	1.99	0.11	0.59
%15+%85	8.31	18.11	20.58	19.93	21.04	18.81	13.31
	1.45	1.42	5.36	1.28	3.41	2.83	8.37
%16+%84	12.63	16.77	21.62	22.12	23.65	23.10	24.34
	0.99	1.12	2.29	3.02	0.49	0.69	1.00
%17+%83	12.25	16.75	21.31	21.59	21.94	21.59	25.58
	0.72	0.86	1.24	1.42	1.75	1.85	0.69
%18+%82	12.52	15.96	19.12	18.22	19.95	24.66	24.24
	0.43	2.20	0.91	2.13	0.88	1.58	1.81
%20+%80	12.67	19.22	19.26	20.70	19.68	21.88	24.01
	1.06	0.40	0.87	1.89	2.10	1.39	1.07
%22+%78	15.91	16.86	20.78	19.60	31.70	23.79	33.10
	2.04	0.54	1.94	0.92	12.03	3.14	9.41
%24+%76	16.66	20.28	23.33	24.49	29.42	27.86	27.54
	1.47	2.77	2.17	0.87	1.08	1.19	4.63
%26+%74	15.94	17.98	23.32	24.4	23.81	27.66	26.17
	2.10	1.81	1.75	1.71	3.69	0.49	0.46
%28+%72	16.09	18.42	20.08	22.16	22.89	25.56	25.91
	1.71	0.74	1.41	2.27	1.62	2.56	1.60

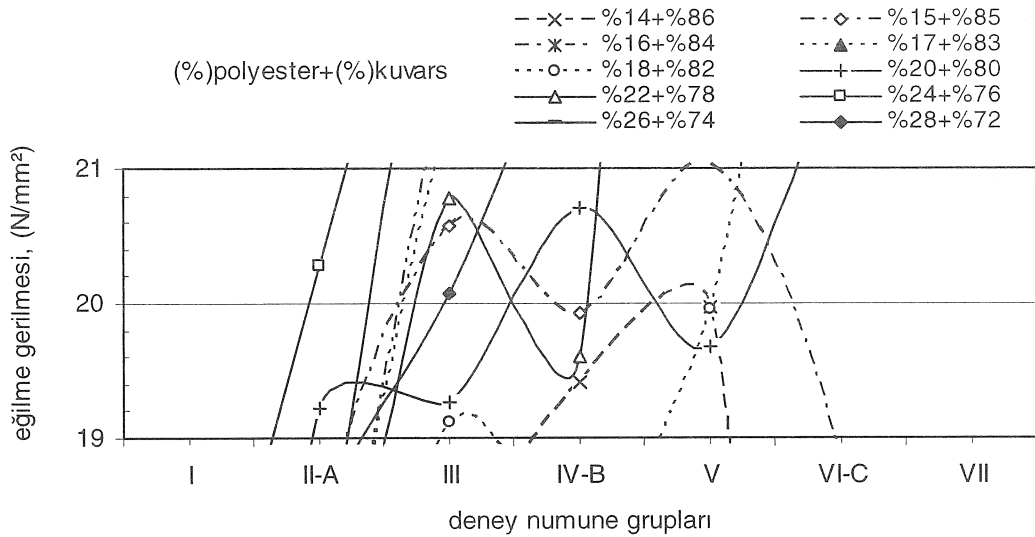


Şekil 3. Polyester reçine bağlayıcı (%) + kuvars dolgu malzemesi (%) ile üretilmiş tüm numuneler ve I 'den VII 'ye granülometri dağılım gruplarına göre eğilme gerilmesi değişimleri.

Fakat dayanım dolgu malzemesiyle de ilgilidir, dolayısıyla belirli bir değerin altına düşen dolgu malzemesi miktarı, dayanımı azaltacaktır. Bu nedenle, çalışmada uygulanmış üretimle elde edilmiş numunelerde en büyük değerin alındığı % 22 'den büyük ve küçük reçine oranlı yapıların eğilme dayanımlarının, düşüş gösterdiği söylenebilir. Granülometri dağılım eğrileri dışında kalan bölgelerde, düşük polyester reçine oranlı çalışmalarda da, çimento betonunda olduğu gibi, yeterli eğilme dayanımı vermediği görüldü. Granülometri eğrilerinin A-C aralığında kullanılabilmesi, yükselen reçine oranlarında ise bazı bileşimlerde çok daha iyi değerler verebileceği belirlendi. Grup VII-%22 en büyük eğilme dayanımı değerini verse de, grup V-%22'nin daha uygun granülometri dağılımı nedeniyle, polyester reçineli kompozit çalışma için uygun bir bileşim olduğu ifade edilebilir.

Eğilme gerilmesi, polyester reçineli yapıda 19-21 N/mm² değerleri arasında, şekil 4 'de, gruplardan III ve V yükselen bir eğilimdedir. Grup IV-B ise %20 reçine oranı dışında tüm reçine oranları için düşüş eğilimindedir ve yapıdaki farklı bileşenlerin dağılımının etkisi nedeniyle olduğu düşünülmektedir. A 'dan C 'ye, çimento betonu granülometri dağılımı için ideal ve kabul edilebilir dağılım gruplarının yer aldığı alandır. Bunun dışındaki alanlarda grupların bir değer almamış olması nedeniyle, polimer kompozitleri içinde bu granülometri dağılımının uygun olduğu söylenebilir.

Eğilme dayanımının, granülometri dağılımı ve reçine oranlarıyla tiplerine bağlı olarak değiştiği gözlenmektedir. Epoksi ve polyester reçineli numunelerin eğilme dayanımları eğrilerinden ortak görülen, bazı yükselme ve düşüşlerin



Şekil 4. Polyester reçine ve kuvars dolgu malzemesi numunelerin, granülometri dağılım gruplarına göre (19-21 N/mm² arası) eğilme gerilmesi değişimleri.

olduğudur. Buna neden olarak, dolgu malzemesi tane büyüklüğü dağılımının, bazı durumlarda dayanımı daha az, bazen çok etkileyen bir bileşim oluşturması veya farklı parametreler etkisiyle homojen olmayan bir yapı oluşumu nedeniyle olduğu da söylenebilir. Bu nedenle çalışma şartlarına uygun bir yapının elde edilmesi, polimer betonun özelliklerini etkileyen parametrelerin analizlerinin yapılmasını gerektirir. Bu çalışma, bu tür analizlere yol göstermesi açısından yararlı olabilir.

Epoksi ve polyester reçineli eğilme yük değerleri oldukça farklıyken, eğilme gerilmelerinin benzer değerlerde elde edildiği görülmektedir. Bu durumun, numune boyutlarının farklı olması ve ölçülen yükten

gerilme değeri hesaplanmasında, farklı kesitlerin dikkate alınması nedeniyle olduğu söylenebilir.

Epoksi ve polyester reçineli çalışmada, standart normal dağılım eğrisi altındaki alanda meydana gelme olasılığı, %95.5 altında gerçekleşmiştir. Epoksi ve polyester reçinenin büyük standart sapma değerleri 4.17 ve 12.03 için %87.29 olarak oluşmuştur. Standart sapma değerlerinin elde edildiği her bir noktadaki numunelerin yapıları, bir diğerinden farklıdır. Bu yüzden ilgili yerdeki eğilme gerilme ortalamaları ve standart sapmaları olarak verilmişlerdir.

Araştırmalar eğilme dayanımının, maksimum dolgu oranlarında kullanılan reçine tipine de bağlı

olarak değiştiğini, karışımlara ıslatabilme özelliğini arttıran katkı maddeleri ilave edilmesiyle, dolgu malzemesi oranının artabileceğini göstermektedir. Çalışmada bu tür katkı maddeleri kullanılmamıştır. Dolayısıyla bu, eğrilerin dışuk veya çok reçine oranlarında, benzer şekilde dayanımlarının dışuk elde edilmesinin nedeni olarak da gösterilebilir. Ayrıca üretimde baskı kuvveti de dayanımı arttıracaktır. Dolayısıyla, kullanılmamış katkı maddelerinin ilave edilmesi ve uygulanmamış baskı kuvvetlerinin uygulamasıyla, bu çalışmada elde edilmiş değerlerden daha yüksek eğilme dayanımı değerlerinin alınabileceği söylenebilir.

Yapılabilecek çalışmalara öneri olarak, süreksiz granülometri halinde veya belirli tane büyüklüğü için çalışılabilir. Dolgu malzemesi ve elik veya farklı herhangi bir malzemeyle hazırlanmış donatılı bir kompozit oluşumu değerlendirilebilir. Elde edilmiş kompozit yapının aşınma özellikleri araştırılabilir. Mevcut yapıların ısı etkisinde dayanımları çalışılabilir. Farklı yükleme hızlarındaki dayanımları araştırılabilir. Dayanımı etkileyen faktörlerin birbirleriyle etkileşimi olup olmadığı incelenebilir. Sre uzatıcı malzemeler, yapışma yükselticiler, boya maddeleri, fiber, lif vb. takviyeler, farklı reçine, dolgu malzemesi, hızlandırıcı ve sertleştiricileri gibi farklı parametrelerle alışılabilir.

THE FLEXURAL STRENGTH OPTIMIZATION IN EPOXY AND POLYESTER RESIN POLYMER CONCRETE ACCORDING TO DIFFERENT GRANULOMETER AND BINDER RATIO

Polymer concretes are composite materials made of two or more different materials. Component structures are filler, binder, hardener, accelerator and reinforcements. Different compounds are prepared according to the aim, when thought as body for a bench or as a structural element in any applied area. The structure has to be durable to work forces. Only the composites which give the targeted results in mechanical properties can be used in applications. As a result of the experimentation of flexural strength on brittle materials, the evaluation of flexural strength can be measured, and the precise strength evaluation can be identified. In this study, change in flexural strength according to different agreg distribution and binder ratio designed on standard cement concrete granulometric curves is researched. Epoxy and polyester resin are used as binders and quartz is used as filler material. It is identified that flexural strength changes according to granulometric distribution and resin rations and types. And it is seen that suitable mix optimization is possible reach targeted durability.

Keywords: Polymer-matrix composites, mechanical properties, mechanical testing, termosetting resin, flexural strength.

KAYNAKLAR

1. Popovics S., Concrete making materials, Hemisphere Publishing Corporation, Washington, McGraw-Hill Book Co., 1979.
2. Nicklau R.G., Werkzeugemaschinengestelle aus methacrylatharzbeton, Fortschr. Ber., VDI Reihe 2, VDI Verlag, Dusseldorf, 1985, n. 94.
3. Schulz H., Reaktionsharzbeton im werkzeugmaschinenbau industrie anzeiger, n. 21, v. 14, 1986, p. 41-42.
4. Krause J., Reaktionsharzbeton als werkstoff fr hochbeanspruchte maschinenteile, Darmstadt, München, Wien, Hanser, 1987.
5. Kreis R., Polymer concrete-a progressive building material, Int. Polym. Sci. Tech., 18, 1991, p. 69-74.
6. ACI Committee 548, Guide for polymer concrete overlays-ACI 548.5R., American Concrete Institute, Detroit, 1998, p.1-26.
7. ACI Committee 548, Polymer concrete-structural applications state-of the art report-ACI 548.6R., American Concrete Institute, Detroit, 1996, p.1-23.
8. Fowler D.W., Polymers in concrete-a vision for the 21st century. Cement & Concrete Composites 21, 1999, p. 449-452.
9. Muszynski L.C., Polymer concrete. Encyclopedia of polymer science and engineering, Wiley, v. 12, New York, 1998, p. 462-470.
10. Ohama Y., Recent progress in concrete polymer composites. Cement & Concrete Composites, 5, 1997, p. 31-40.
11. Ohama Y., Polymer beton in Japan, Recent development of polymer concrete in Japan, Stand der entwicklung, College of Engineering, Nihon University, Koriyama, Japan, 1982.
12. Haddad M. U., Fowler D. W.; Paul D. R., Factors affecting the curing and strength of polymer concrete, ACI Journal, Technical paper, Title Nu. 80-38, Sep.-Oct. 1983, p. 396-462.
13. Czarnecki L., The status of polymer concrete, Concrete international design and construction, v. 7, n. 7, July 1985, p. 47-53.
14. Cranfield Moulded Structures, Designing machines in granite composites, Engineering Materials and Design, v. 31, n. 6, June 1987, p. 46-48.
15. Chung S., Tsutsumi M., Ito Y., Dynamic characteristics of lathe using concrete bed, Bulletin of JISME, v. 28, n. 239, 1985, p. 987-993.
16. Sahn D., Reaktionsharzbeton fr gestellbauteile spanender werkzeugmaschinen, von der Fakultat für Maschinenwesen der Rheinisch-Westfalischen Technischen Hochschule Aachen, 28, Sep., 1987.

17. Dey H. J., Das verformungs und bruchverhalten von reaktionsharzbeton und die auswirkungen auf maschinenbauteile, Hanser, 1991.
18. Nutt W. O., Polymer concretes-The next stage, Concrete, London, v. 21, n. 9, Sep. 1987, p. 15-16.
19. Kazaryan E. L., Popov Yu. P., Gukasov N. A., Domestic Equipment for the polymer concrete article production, Khimicheskoe, Neftekhimicheskoe Marhinostroenie, n. 1, Jan. 1992, p. 12-13.
20. Kamal M. M., Tawfik S. Y., Nosseir M. H., Polyester mortar, Reinforced Concrete Department, General Organization, for Housing Building and Planning Research, Laboratory of Polymers and Pigments, national research Centre, Dokki, Cairo, Egypt.
21. Rao V. V. L. K., Aggregate mixtures for least void content for use in polymer concrete. Cem. Concr. Aggr. 15, 1993, p. 97-103.
22. Soh Y. S., Jo Y. K., and Park H. S., Effect of fillers on the mechanical properties of unsaturated polyester resin mortar. In, Polymers in Concrete, E & FN Span, London, 1997, p. 67-74.
23. Rao V. V. L. K., Krishnamoorthy S., Influence of resin and microfiller proportions on strength, density and shrinkage of polyester polymer concrete. ACI Struct, J. 95, 1998, p. 153-162.
24. Abdel-Jawad Y. A., Abdullah W. S., Design of maximum density aggregate grading. Construction and Building Materials, 16, 2002, p. 495-508.
25. Mathukumar M., Mohan D., Rajendran M., Optimization of mix proportions of mineral aggregates using box behnken design of experiments. Cement & Concrete Composite, v. 25, n. 7, Oct. 2003, p. 751-758.
26. ASTM C579, Standard test methods for compressive strength of chemical resistant mortars, grouts, monolithic surfacings and polymer concretes, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania, 1996.
27. Clifton JR., Czarnecki L., Garbacz A., Lukowski P., Optimization of polymer concrete composites, final report. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD. 20899, 1999.
28. Renker H.J., Stone-based structural materials, (Fritz Studer AG, Glockenthal, Switzerland), Precision Engineering, v. 7, n. 3, July 1985, p. 161-164.
29. Ateş E. Epoksi polimer betonun makine yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Balıkesir, Türkiye, Eylül, 1994, p. 195.
30. Schering, Industrial Chemicals, Surface protection, Systems for Coatings and Building Protection, 1994. p.23.
31. Schering, Industrial Chemicals, Surface protection I, Technical Information, Solvent Based Paints and Epoxy Emulsion Paints, Eurepox, Euredur, 1994. p. 70.
32. Schering, Industrial Chemicals, Surface protection II, Technical Information, Building Protection, 1994. p.113.
33. Capuano T.D., Polymer concrete; An engineering material with an identity problem, Machine Design, v. 59, n. 20, Sep. 1987, p. 133-135.
34. Deer W.A., Howie K.A., Zausmann J., An introduction to the rock forming minerals, Longmans, Gren and Co. Ltd., 1967.
35. Erdoğan T. Y., Beton, METU Pres, Mayıs, 2003, p.77-81

YAKIN GELECEKTEKİ KONGRE VE BİLİMSEL ETKİNLİKLER

KONGRE ADI

TARİH

YAZIŞMA ADRESİ

5th CIRP Int. sem. On Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (CIRP ICME '06),

25-28 Temmuz 2006
Ischia, Italy

Prof. Roberto teti
Dept. Of Materials & Production Engineering
University of Naples Federico II
Piazzale Tecchio 80
I- 80125 Naples, Italy
Tel: +39 081 7682371
Fax +39 081 7682362
E-mail: tetiro@unina.it
<http://www.lapt.unina.it>

Conference on Vehicles Alternative Fuel Systems & Environmental Protection

22-25 Ağustos 2006
Vafsep, Dublin

Dr. Abdul-Ghani Olabi
e-mail: yafsep2004@dcu.ie
<http://www.vafsep.dcu.ie>

ICMR 2006
Liverpool John Moores University

5-7 Eylül 2006

www.icmr2006.org.uk

4th International Conference on Manufacturing Research (ICMR 2006)

5-7 Eylül 2006
Liverpool John Moores University

<http://www.ljmu.ac.uk/conferences/64837.htm>

12th International Conference on Machine Design and Production (UMTIK-2006).

05-08 Eylül 2006
Kuşadası, Turkey

DEKON CONGRESS & TOURISM
Head Office:
Yyldyz Posta Caddesi, No: 17/4
Esentepe 34394, Istanbul Turkey
Telephone: +90(212) 347 63 00
Fax: +90(212) 347 63 63
e-mail: secretary@umtik.org

ASME 2006 Design for Manufacturing and the Life Cycle Conference

10-13 Eylül 2006
Philadelphia

Dr. Bill Wood
Mechanical Engineering Department University of Maryland
Baltimore County Baltimore, MD 21250
Phone: 410-455-3314
Fax: 410-455-1052
E-mail: bwood@umbc.edu

3rd International CIRP Seminar on Digital Enterprise Technology

18-20 Eylül 2006
Setubal, Portugal

Instituto Politecnico de Setubal, Escola Superior de tecnologia de Setubal Departamento de Engenharia Mecanica; Campus do IPS, estefaniha, 2910-761 Setubal, Portugal
Fax : +351.265.721869, Tel : +351.265.790000
E-mail: pcuhna@est.ips.pt
<http://www.est.ips.pt/det2006>

13th ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications

18-22 Eylül 2006
Antibes, France

Alain Bernard Ecole Centrale de Nantes
Alain.Bernard@ircyn.ec-nantes.fr
<http://www.ce2006.org/Submission>

9th European Conference on Non-Destructive testing (9th ECNDT)

25-29 Eylül 2006
Estrel Convention Center,
Berlin, Germany

Contact: Exhibition Secretariat, Deutsche Gesellschaft for Zerstörungsfreie Prüfung e.V., Max-Planck-Strasse 6, 12489 Berlin, Germany,
Tel.: +49 (30) 678 07 106
Fax: +49 (30) 678 07 129,
E_mail: mail@ecndt2006.info
Website: <http://www.ecndt2006.info>

2006 ASME International Conference on Manufacturing Science & Engineering (MSEC)

8-11 Ekim 2006
Marriott Eagle Crest
Conference Center
Ypsilanti MI Hosted by
The University of
Michigan

Dr. Muammer Koç/Ho Choi
Department of Mechanical Engineering University of Michigan
Ann Arbor, MI
734 763 7119 / office
734 936 0363c / fax
mkoc@umich.edu / hchoiz@umich.edu

KONGRE ADI

TRIZ Future Conference 2006
Creativity, Quality and Efficiency
Building an Innovation Culture

Virtual Concept

High Temperature Fatigue-
Influences of Environment and
Creep

HIGH SPEED MACHINING
Sixth International Conference

UMTS 2007
13. Ulusal Makina Teorisi
Sempozyumu

TARİH

9-11 Ekim 2006
Belgium, Kortrijk

26 Kasım – 1 Aralık 2006
Cancun – Playa Del
Carmen

5-6 Aralık 2006
1 Carlton House Terrace,
London, UK

21-22 Mart 2007
San Sebastian

7-9 Haziran 2007
Sivas

YAZIŞMA ADRESİ

Nadine Rits nr@creax.com
Tel : +325 722 94 80 Fax: +32 57 22 94 81
Further information www.etria.net and www.triz.be

Organization: virtualconcept2006@estia.fr

Conferences & Events IOM Communications Ltd. 1 Carlton House
Terrace London SW1Y 5DB IOM3
Website: www.iom3.org
Tel: +44 (0)1438 820850
Fax: +44 (0)20 7839 1702
E-mail: fatigue@iom3.org

LANKOR

Parque Empresarial Zuatzu edificio Zurriola, planta baja, local 5
20018 San Sebastian (Spain)
Tel: 34 943 428111, Fax : 34 943 428055
www.highspeedmachining.org

[http://muhendislik.cumhuriyet.edu.tr/makine/umts2007/
umts2007@cumhuriyet.edu.tr](http://muhendislik.cumhuriyet.edu.tr/makine/umts2007/umts2007@cumhuriyet.edu.tr)

YAYIN İLKELERİ

Amaç

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

Kapsam

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

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

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

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

Makalelerin Değerlendirilmesi

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

YAYIN HAKKI

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

ÇALIŞMA İLKELERİ

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

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

Journal of MECHANICAL DESIGN AND PRODUCTION

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

MAKALE GÖNDERME KOŞULLARI

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

Makina Tasarım ve İmalat Dergisinde aşağıdaki makaleler yayımlanabilir.

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

Hakem değerlendirmesi için makaleler, biri 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 İLKELEİRİ

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 kullanılmak gerektiğinde, bunlar uygun bir şekilde tanımlanmalı ve yeterince açıklanmalıdır.

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

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

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

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

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

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

Başlıklar

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

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

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

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

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

Matematiksel 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 aydın ve beyaz bir kağıda çizilmelidir. Her şekil A4 boyutunda ayrı bir sayfada olmalıdır. Şekiller 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her şeklin altına alt yazılarıyla birlikte yazılmalıdır. Çizelgeler de şekiller gibi, 1 (bir)'den başlayarak ayrıca numaralandırılmalı ve her çizelgenin üstüne başlığıyla birlikte yazılmalıdır.

Resimler parlak sert (yüksek kontrast) 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 bulunan) her türlü basılı yayın makalede söz edildiği sırada ve köşeli parantez | | içinde verilmelidir. Dergilerde yayımlanan makaleler, kitaplar, raporlar, tezler, kongre ve sempozyumlarda sunulan makaleler aşağıdaki örneklerde verilen şekilde yazılmalıdır.

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

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler daktilo ile A4 kağıdının tek yüzüne, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeterli 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, çevirden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.