

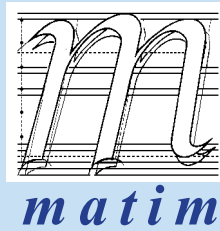
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 16

Sayı: 1

Mayıs 2018



**Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi
ATILIM ÜNİVERSİTESİ - ANKARA**

Yayın Kurulu

Editör: Erhan İlhan Konukseven
Yardımcı Editör: Sezer Özerinç
Yardımcı Editör: Oğuzhan Yılmaz
Yardımcı Editör: Hakan Kalkan

ODTÜ
ODTÜ
Gazi Üniversitesi
Atılım Üniversitesi

Kurul Üyeleri

Metin Akkök
Can Çoğun
Mustafa Bakkal
Cemal Merih Şengönül
Erhan Budak
İsmail Durgun
Volkan Esat
Mehmet Fırat
Hüseyin Filiz
Necdet Geren
Mustafa İ. Gökler
Yiğit Karpaz
İsmail Lazoğlu
İzzet Özdemir
Tuğrul Özel
Ferruh Öztürk
Evren Yasa
İ. Ethem Saklakoğlu
Halim Meço
Yusuf Kaynak
Ali Oral
Haydar Livatyalı

ODTÜ
Çankaya Üniversitesi
İTÜ
Atılım Üniversitesi
Sabancı Üniversitesi
İsmail DURGUN Eğitim ve Danışmanlık
ODTÜ Kuzey Kıbrıs
Sakarya Üniversitesi
Gaziantep Üniversitesi
Çukurova Üniversitesi
ODTÜ
Bilkent Üniversitesi
Koç Üniversitesi
İYTE
Rutgers Üniversitesi
Uludağ Üniversitesi
Osmangazi Üniversitesi
EGE Üniversitesi
FNSS
Marmara Üniversitesi
Balıkesir Üniversitesi
YTÜ

Danışma Kurulu

Tuna BALKAN
Melik DÖLEN
O. Selçuk YAŞI
Yiğit YAZICIOĞLU
Orhan YILDIRIM

ODTÜ
ODTÜ
ENVY A.Ş.
ODTÜ
ODTÜ

Yazışma Adresi, Telefon ve Faks

MakinaTasarımveİmalatDerneği
Metal ŞekillendirmeMükemmeliyetMerkezi
ATILIM Üniversitesi
İncek, ANKARA
Tel : (312) 586 8860, 586 8368, Faks : (312) 586 8091
Web: <http://matim.org.tr/>
e-mail : matim@atilim.edu.tr

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 16 Sayı: 1

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 16 No: 1

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 gerçek kişiler için 20 TL, firma ve kuruluşlar için 60 TL, öğrenciler için 10 TL'dir. Abone olmak için aşağıda verilen banka hesabına abone bedelinin yatırılması ve açık adresiniz ile banka makbuzunun adresimize gönderilmesi yeterlidir.

TANITIM KOŞULLARI

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

BANKA HESAP NUMARASI

Makina Tasarım ve İmalat Derneği
T. İş Bankası, ODTÜ Şubesi
Hesap No: 4229 0235339
IBAN:
TR430006400000142290235339
Dergi, Dernek Üyelerine ücretsiz iletilir.

DİZGİ

Hülya SEVER

BASKI

DERGİPARK-Elektronik Yayın

Yılda 2 sayı Mayıs ve Kasım aylarında yayımlanır.

İÇİNDEKİLER

ARAŞTIRMA, GELİŞTİRME VE UYGULAMA MAKALELERİ

3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

1

Burçin Kaygusuz
Sezer Özerinç

An Experimental Investigation of the Ultrasonic-Assisted Machining of Ti6Al4V

7

Fatih H. Çakır
Selim Gürgen
Sezan Orak
M. Cemal Kuşhan
M. Alper Sofuoğlu

Sac Metal Gerdirme Prosesinin Sayısal Modellenmesi ve Analiz Sonuçlarının Doğrulanması

12

Celal Onur Alkaş
Hasan Ali Hatipoğlu
Fuat Kamışlı
Celalettin Karadoğan
Caner Şimşir

CNC Tel Elektro Erozyon Tezgâhında Tel Elektrot Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Modellenmesi

20

Hüseyin Gürbüz
Şehmus Baday
İbrahim Hamarat

Vana İmalatçısı Firmaların Teknik ve Ticari Yeterliliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Bir Tedarikçi Değerlendirme Çalışması

30

Yusuf Tansel İç
M.Cenk Yalçinkaya
Serkan Dalarslan

Sayın Okurlarımız,

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

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

2016 yılında YÖK tarafından yeni olarak istenen Doçentlik için yerli yayın zorunluluğu için de dergimiz uygun bir platform olacaktır. Dergimizin Mayıs ve Kasım aylarında çıkarılabilmesi için de makale katkılarınızı beklemekteyiz. Bu sayede, dergimiz TÜBİTAK ULAKBİM tarafından taranan dergiler arasına girecektir. Dergimiz, 2017 yılındanberi TÜBİTAK DERGİPARK ortamında yayınlanmaktadır. Dergimizin eski sayılarına da bu ortamda ulaşılabilir. Ayrıca yeni web sayfamızda (<http://matim.org.tr/>) Dergimiz ve Derneğimiz ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

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

Burçin Kaygusuz

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Mikro ve Nanoteknoloji Bölümü
Ankara

Sezer Özerinç

Orta Doğu Teknik Üniversitesi
Makina Mühendisliği Bölümü
Ankara

3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi

3 boyutlu yazıcılar aracılığıyla üretilen bileşenler ve ürünler, otomotiv, biyomedikal, tekstil ve gıda sektörlerinde giderek artan oranda kullanılmaktadır. Bu yöntemle üretilen malzemelerin mekanik özelliklerinin anlaşılması, bu malzemelerin uygulamalarda verimli olarak kullanılması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, yaygın olarak kullanılan 3 boyutlu yazıcı malzemelerinden biri olan polilaktik asit (PLA) ile üretilen yapılarda, nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu gibi parametrelerin mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Nozul sıcaklığı arttıkça üst çekme dayanımı artmış, dolgu yoğunluğu azaldıkça dayanım ve elastikiyet modülü kademeli olarak azalmıştır. Elde edilen bulgular, üç boyutlu yazıcı ürünü yapıların mekanik özellik, üretim süresi ve maliyet açısından optimize edilmesinde kullanılabilir bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: eklemeli üretim, mekanik özellikler, polilaktik asit, eriyik yığıma modelleme

1. GİRİŞ

Geleneksel imalat yöntemleri, yaygınlaşan otomasyon sistemleri sayesinde aynı bileşenin bin ve üzeri sayılarda üretildiği uygulamalarda düşük maliyet ve tekrarlanabilir üretim sunar. Öte yandan, prototipleme uygulamalarında ve biyomedikal sektörüne yönelik üretimlerde çok sayıda farklı tasarımın düşük sayıda üretilmesine ihtiyaç duyulur. Bu tür durumlarda geleneksel imalat yöntemleri ekonomik olmamaktadır.

Eklemeli imalat (Eİ) bu kapsamda geleneksel üretim tekniklerinin dezavantajlarının giderilmesi için büyük potansiyel vaat eder [1]. Son yıllarda, birçok Eİ yöntemi arasından, Eriyik Yığıma Modelleme (EYM) yöntemi öne çıkmıştır. Özellikle polimer baskı teknolojisi sunan cihazların yaygınlaşması ve görece hızlı ve hassas üretim sunması bu noktada önemli rol oynamıştır [2]. EYM ile otomotiv, biyomedikal, biyoteknoloji, tekstil, gıda ve diğer birçok sektörde üretilen bileşen sayısı giderek artmaktadır [3].

EYM teknolojisi, filament geometrisindeki ham malzemenin ısıtılarak küçük çaplı bir nozul aracılığıyla bir numune tablasına sistematik şekilde aktarılmasına dayanır. Nozul, her katmanda katı modele göre dolu olması gereken koordinatlara

malzemeyi besler ve malzeme beslemenin hemen ardından soğuyarak katılır. Katmandaki tüm baskı işlemi tamamlanınca numune tablası bir katman yüksekliği kadar aşağıya hareket eder ve yeni katman ile üretim devam eder.

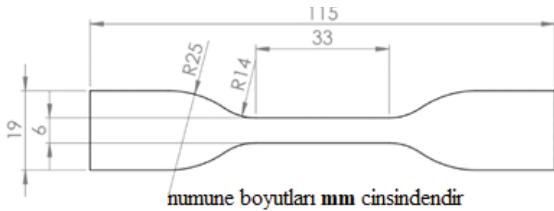
EYM ile üretilen bileşenler, aynı ham malzeme için, stereolitografi, seçici birikim katmanlama ve seçici lazer sinterleme gibi diğer birçok katmanlı üretim yöntemine göre, özellikle baskı yönündeki mekanik davranış açısından daha üstün özellikler sunar [1]. Bu yöntem ve türevleri ile termoplastik, fotopolimer, metal, hatta seramik malzemeler de basılabilmektedir [4]. Bu farklı malzeme grupları arasında günümüzde en yaygın olarak kullanılan gruplardan biri, bu çalışmaya da konu olan termoplastiklerdir [5].

EYM’de en yaygın kullanılan termoplastiklerden biri polilaktik asit (PLA). PLA, biyoyoumlu ve biyoçözünür özelliklerle olması ve düşük maliyeti ile öne çıkmaktadır [6] ve gıda paketlenme sektöründe (%60’a varan kullanım oranı [7]), kişisel bakım ürünlerinde, mutfak eşyalarında ve biyomedikal sektöründe en çok tercih edilen termoplastiklerden birisidir [8].

Üç boyutlu yazıcı ürünü yapıların mekanik özellikleri, katman kalınlığı, tabla sıcaklığı, nozul sıcaklığı, nozul çapı, dolgu yoğunluğu, basma yönü gibi parametrelere bağlı olarak değişir [9]. Dolayısıyla, basılan ürünlerden üstün mekanik performans elde edebilmek için baskı parametrelerinin optimize edilmesi gerekir. Bu çalışmada, EYM yöntemiyle PLA basımında, nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu parametrelerinin malzemenin içyapısına ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Yapılan sistematik çalışma sonucunda en yüksek üst çekme dayanımı ve süneklik değerlerini sunan baskı parametreleri belirlenmiştir.

2. DENEYSEL DETAYLAR

Baskı işlemleri Ultimaker® 2+ yazıcı ile, 0.4 mm çaplı bir nozul kullanılarak yapılmıştır. Ham madde, 1.75 mm çapında, Oo-kuma Elite tarafından üretilen PLA filamenttir. Tüm numuneler ASTM D638-4 standardına uygun olarak “dogbone” çekme numunesi geometrisinde üretilmiştir [10]. Numunenin dış boyutları 115×19×3.2 mm olarak belirlenmiştir. 190–215°C aralığındaki dört farklı nozul sıcaklığı denenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda PLA bozunmaya başladığından, 215°C üstü sıcaklıklarda baskı denenmemiştir. Her sıcaklık için 5 özdeş numune basılmıştır. Filament yazım yönü, yazım yönünün neden olduğu yöne bağlı özelliklerin en aza indirilmesi amacıyla çekme numunesi eksenini ile 45° açı yapacak şekilde ayarlanmıştır. PLA oda sıcaklığındaki bir tablanın üzerine de basılabilmekle beraber, tabla ısıtıldıkça malzemenin yüzeye yapışması artmakta, bu da geometrinin daha düzgün oluşturulmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla baskılar esnasında tabla, tavsiye edilen bir sıcaklık olan 60°C’de tutulmuştur. Diğer baskı parametreleri Tablo 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. ASTM D638-4 standardı numune boyutları.

Farklı nozul sıcaklıklarının çalışılmasının yanısıra farklı dolgu yoğunluğu da sistematik olarak değiştirilmiştir. Farklı dolgu yoğunluğu çalışması için nozul sıcaklığı 190°C’ye sabitlenmiş, ve %10 – %100 hacimsel yoğunluk aralığı incelenmiştir.

Ultimaker Cura yazılımı, seçilen dolgu yoğunluğuna göre, önceden belirlenmiş bir algoritma ışığında, baskı hatları arasındaki boşlukları belirlemiştir. Hacimsel yoğunluk düştükçe baskı hatları arasındaki boşluk sistematik olarak büyümüştür.

Tablo 1. PLA malzemenin baskı parametreleri.

Nozul çapı (mm)	0.4
Filament çapı (mm)	1.75
Filament rengi	ten rengi (natürel)
Katman yüksekliği (mm)	0.2
Baskı hızı (mm/s)	50
Tabla Sıcaklığı (°C)	60
Nozul Sıcaklığı (°C)	190, 200, 210, 215
Dolgu Yoğunluğu (%)	10-100

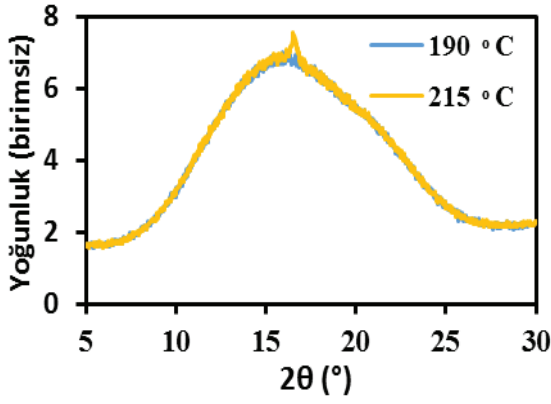
Nozul sıcaklığı, dolgu yoğunluğu ve mekanik özellikler arasındaki ilişkinin incelenmesi için ASTM D638-4 standardına uygun çekme testi numuneleri Zwick/Roell 250 markalı test cihazında 5 mm/dakika yer değiştirme hızında oda sıcaklığında test edilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda basılan numunelerin kristal yapısı ve fazlarının incelenmesi için Rigaku Ultima IV X-ışını kırınımı cihazı kullanılmıştır ve ölçümler aynı numuneler üzerinde mekanik test sonrası yapılmıştır. Tarama hızı 2°/dakika, tarama aralığı 0–40° olarak belirlenmiştir. Kırılma yüzeylerinin morfolojisini ayrıntılı olarak incelemek için QUANTA 400F Field Emission taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Mikroskop, 20 kV gerilim ile ve 3.5–5 nokta boyutu aralığında çalıştırılmıştır. Numuneler iletken olmadıkları için inceleme öncesi 10 nm kalınlığında altın-paladyum ile kaplanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

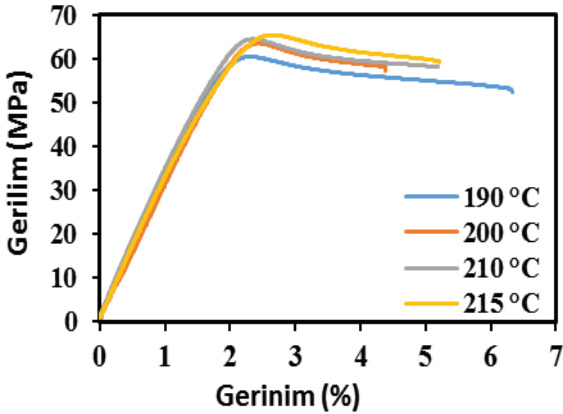
Şekil 2, 190° ve 215°C’lik nozul sıcaklığında basılmış numunelerin XRD sonuçlarını göstermektedir. 200°C ve 210°C’deki ölçümler 190°C ile benzer sonuçlar vermiştir bu yüzden şekilde gösterilmemektedir.

Şekilde, her iki sıcaklık için de görülen geniş ve düşük yoğunluğa sahip tepecikler numunelerin amorf yapıda olduğunu göstermektedir. 215°C numunesinde yaklaşık 16°’de konumlanmış ufak ilave tepecik, bu numunede kısmi bir kristallenmeye işaret etmektedir. Fakat bu tepeciğin yoğunluğuna bakılarak kristallenmenin oldukça sınırlı olduğu söylenebilir.



Şekil 2. Farklı nozul sıcaklıklarında basılmış PLA'nın XRD spektrumu.

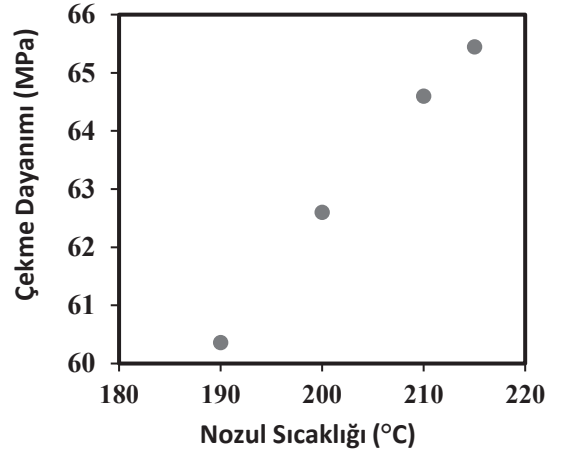
Farklı nozul sıcaklıklarında basılmış olan malzemelerin çekme testi sonucu elde edilen gerilim-gerinim eğrileri Şekil 3'te gösterilmektedir. Her nozul sıcaklığı için 5 numune üzerinde ölçüm yapılmıştır, fakat şekli anlaşılır kılmak için ortalama davranış gösteren birer sonuç gösterilmektedir. Numunelerin elastik şekil değiştirme kısmında, grafikte önemli bir fark yoktur. Dolayısıyla elastikiyet modülü nozul sıcaklığına bağlı olarak gözlemlenebilir ölçüde değişmemektedir. Numunelerin üst çekme dayanımı ise nozul sıcaklığı ile değişmektedir. Bu değişimi daha net ortaya koymak için Şekil 4, 5'er numunenin ortalaması alınmış üst çekme dayanımı verilerini nozul sıcaklığına bağlı olarak göstermektedir. İncelenen sıcaklık aralığında üst çekme dayanımı artan nozul sıcaklığının ile %10'a varan oranda artmaktadır.



Şekil 3. Farklı nozul sıcaklıklarına göre gerilim-gerinim eğrileri.

Mekanik davranış açısından bir başka önemli nokta da numunelerin sünekliliğidir. Şekil 3, 190°C numunesinin kopma noktasındaki toplam uzama miktarının diğer numunelerden fazla olduğunu

göstermektedir. Öte yandan 210 ve 215°C'deki numuneler arasında gözlemlenebilir bir fark yoktur. Dolayısıyla, genel olarak düşük nozul sıcaklığının yüksek süneklilik, yüksek nozul sıcaklığının da yüksek mukavemet sağladığı söylenebilir.



Şekil 4. Farklı nozul sıcaklıklarına göre üst çekme dayanımı değerleri.

Nozul sıcaklığının artırılması ile, beslenen yeni katman bir önceki adımlarda basılan katmanlarla temas ettiğinde daha yüksek bir arayüz sıcaklığına neden olmakta, bu da katmanların birbirlerine olan yapışmalarını ve kaynaşmalarını artırmaktadır. Bu nedenle artan nozul sıcaklığı, kullanılan malzemenin bodenzma sıcaklığını aşmamak kaydıyla yapıdaki boşlukları ve kusurları azaltarak mekanik özellikleri iyileştirmektedir. Süneklilikteki düşüşün ise farklı nozul sıcaklıklarının yol açtığı içyapı değişimlerinden kaynaklandığı düşünülmekle beraber, nedeni tam olarak anlayamamıştır. İlerideki çalışmalarda yapılacak diferansiyel taramalı kalorimetre ölçümleri malzemedeki kristallik oranını daha hassas bir şekilde ortaya koyarak bu soruyu daha iyi cevaplayacaktır. Test edilen numunelerin çekme dayanımı 60-70 MPa seviyesindedir. Elde edilen bulgular literatürdeki çalışmalarla uyumludur. Örneğin Wittbrodt vd., 190 ve 215°C'de bastıkları PLA'da sırasıyla 54 ve 57 MPa'lık bir üst çekme dayanımı tespit etmişlerdir [11]. Tymrak vd. ise kapsamlı çalışmalarında PLA için farklı koşullarda 55-62 MPa aralığında üst çekme dayanımı bulmuşlardır [9]. Bu noktada farklı üreticilerin termoplastik özellikleri geliştirmek için farklı katkı maddeleri kullandıkları ve bunun da mekanik özellikleri belli oranlarda değiştirdiği göz önüne alınmalıdır. Ayrıca, parçanın basma yönü de mekanik özellikler üzerinde etkilidir. Nozulun çekme yönüne paralel yöndeki hareketi ile basılan parçalar, çekme yönüne dik olarak basılan parçalara göre daha yüksek çekme dayanımlarına sahiptirler. 45°'lik baskı açısında ise ortalama bir mukavemet gözlemlenmektedir.

Şekil 5, dolgu yoğunluğunun mekanik davranışa etkisini gerilim-gerinim eğrileri aracılığıyla göstermektedir. Dolgu yoğunluğu arttıkça, elastikiyet modülü ve üst çekme dayanımı artmaktadır. Her numune için tekrarlanan deneyler ışığında ortalama mekanik özellikler, Şekil 6'da özetlenmektedir. %100 yoğunluğa sahip olan numune %20'lik numunenin yaklaşık iki katı üst çekme dayanımına sahiptir. Dolayısıyla birim kütle başına dayanım düşünlüğünde düşük dolgulu numuneler ilk bakışta daha verimli görünmektedirler.

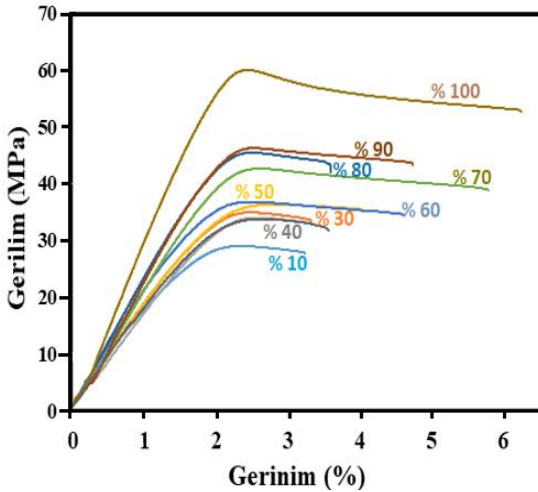
Gözenekli malzemelerin mekanik özellikleri, gözenek morfolojisine bağlı olarak aşağıdaki denklem ile modellenir [12].

$$\frac{\sigma}{\sigma_s} = C \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right)^n \quad (1)$$

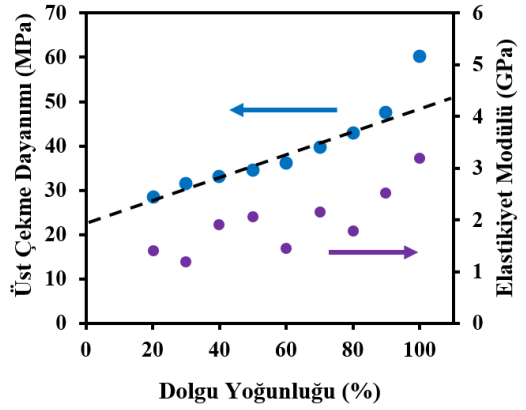
Bu denklemde, σ , %100 doluluğa sahip malzemenin akma dayanımı, ρ ise bu malzemenin kütle yoğunluğudur. σ_s ve ρ_s ise gözenekli malzemenin özellikleridir. C ve n deneysel sabitlerdir. Bu model ışığında, Şekil 6'daki veriler aşağıdaki denklem ile modellenmiştir:

$$\frac{\sigma - 22.7 \text{ MPa}}{60.5 \text{ MPa}} = 0.45 \frac{\rho}{\rho_s} \quad (2)$$

Burada orijinal denklemden farklı olarak, yoğunluk %0'a yaklaştıkça, akma dayanımı 0'a yaklaşmamaktadır. Bunun temel nedeni, EYM'de yaygın olarak kullanılan baskı algoritmasıdır. EYM tekniğinde, her katmanda, geometrinin dış hatları %100 doluluk oranına sahip olacak şekilde basılmakta, bu sayede üretilen parçanın yüzey kalitesinin ve boyutsal hassasiyetlerin korunması amaçlanmaktadır. Bu nedenle çekme testi esnasında, malzemenin bu dış yüzeyi, malzemeye ilave bir mukavemet sağlamaktadır.



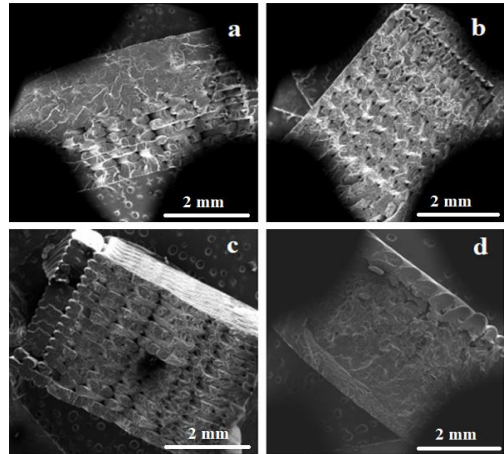
Şekil 5. Farklı dolgu yoğunluklarına göre gerilim-gerinim eğrileri.



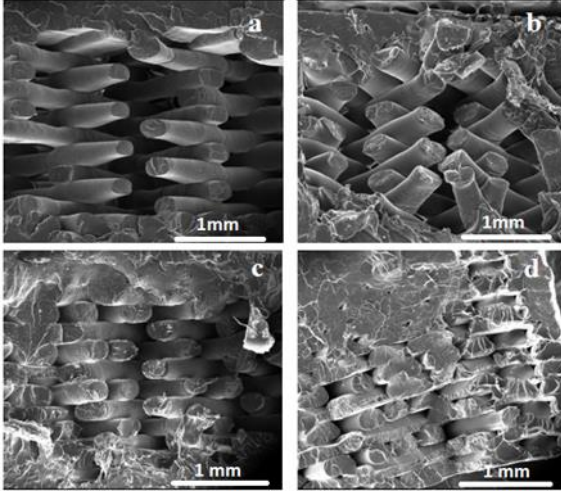
Şekil 6. Farklı dolgu yoğunluklarındaki numunelerin ortalama elastikiyet modülü ve üst çekme dayanımı değerleri. Kesik çizgi modelin öngörüsünü göstermektedir.

Kırılma morfolojisini daha iyi anlamak için, taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Şekil 7 ve 8 farklı nozul sıcaklıklarında ve farklı dolgu yoğunluklarında basılmış ve çekme testi uygulanmış numunelerin kopma bölgelerinin elektron mikroskobu görüntülerini göstermektedir. Şekil 7'de nozul sıcaklığı arttıkça yapıda boşlukların azaldığı ve gerilim yığılmasına yol açabilecek kusurların ortadan kalktığı görülmektedir. Buna bağlı olarak numunelerin mekanik dayanımı artmıştır.

Şekil 8'de ise düşük yoğunluklu baskılarda, çekme yönünde yükü taşıyan fiber sayısının önemli ölçüde düştüğü görülmektedir. Bu nedenle mühendislik gerilimi bazında hesaplanan çekme dayanımı, yoğunluk azaldıkça düşmüştür.



Şekil 7. Farklı nozul sıcaklıklarında, %100 dolgu yoğunluğunda basılmış numunelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (a. 190°C, b. 200°C, c. 210°C, d. 215°C).



Şekil 8. Farklı dolgu yoğunluklarında, 190°C'de basılmış numunelerin kopma yüzeylerinin taramalı elektron mikroskopu görüntüleri (a. %40, b. %60, c. %80, d. %100).

Elde edilen sonuçlar, EYM uygulamalarında baskı süresi, ağırlık ve mekanik özelliklerin optimizasyonu hakkında fikir vermektedir. Örneğin sadece %20'lik dolgu yoğunluğuna sahip numuneler, %100 yoğunluktaki numunelerin %50'sine varan bir dayanım sunmaktadırlar. Dolayısıyla yüksek üretim hızı ve düşük ağırlık gerektiren uygulamalarda düşük dolgu yoğunluğu avantaj sunmaktadır. Öte yandan, yüksek darbe dayanımı ve sünekliliğin önem taşıdığı durumlarda, genel olarak yüksek dolgu yoğunluğunun tercih edilmesi önerilebilir (bkz. Şekil 5).

SONUÇLAR

Bu çalışmada EYM yönteminde yaygın olarak kullanılan polilaktik asit (PLA) ile gerçekleştirilen baskılarda nozul sıcaklığının ve dolgu yoğunluğunun içyapıya ve mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir.

Nozul sıcaklığının değişimi malzemenin amorf yapısında önemli bir değişikliğe yol açmamış, sadece 215°C'deki baskılarda kısmi bir kristallenme gözlemlenmiştir. Öte yandan nozul sıcaklığı ve dolgu yoğunluğu mekanik özellikleri önemli ölçüde etkilemiştir. Nozul sıcaklığı arttıkça yapıdaki boşluklar azalmış ve buna bağlı olarak çekme dayanımı artmıştır. Öte yandan elastikiyet modülü nozul sıcaklığı ile önemli bir değişiklik göstermemiştir. Dolgu yoğunluğunun düşürülmesi ise, hem akma dayanımını, hem de elastikiyet modülünü önemli ölçüde azaltmıştır.

Önümüzdeki dönemdeki çalışmalarda, dolgu oranının mekanik davranışa etkisi, farklı dolgu yapıları için sonlu elemanlar analizi çalışmalarıyla

incelenecek ve elde edilecek bilgiler ışığında daha üstün mekanik özellikler sunan dolgu yapıları geliştirilecektir. Bunun yanı sıra homojen olmayan baskı morfolojilerinin mekanik özelliklere etkisi daha ayrıntılı olarak incelenecektir.

TEŞEKKÜR

Numune hazırlanmasındaki katkılarından ötürü ODTÜ Makina Mühendisliği lisans öğrencisi Onat Aşık'a, malzeme analizlerindeki katkılarından ötürü ODTÜ Merkez Laboratuvarı'na, ODTÜ Makina Mühendisliği Bölümü Katı Mekaniği Laboratuvarı Mühendisi Servet Şehirli'ye ve Nanomekanik Laboratuvarı yüksek lisans öğrencisi Sencer Aydın'a teşekkür ederiz.

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF 3D PRINTED PLA-BASED STRUCTURES

Products manufactured by 3D printing are increasingly used in automotive, biomedical, textile and food industries. Understanding the mechanical properties of the components produced by 3D printing is of great importance in terms of the efficient use of this technology in applications. In this study, effects of parameters such as nozzle temperature and filling density on the mechanical properties of 3D-printed polylactic acid (PLA) structures have been investigated. As the nozzle temperature increases, the ultimate tensile strength increases, and as the infill density decreases, the modulus of elasticity and strength gradually decrease. The findings provide useful information for optimizing 3D printing processes in terms of mechanical properties, manufacturing time, and cost.

Keywords: additive manufacturing, fused deposition modeling, mechanical properties, polylactic acid (PLA)

KAYNAKÇA

1. I. Gibson, D. Rosen, B. Stucker, Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, 2015.
2. J.W. Stansbury, M.J. Idacavage, 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities, *Dental Materials*, 2016, **32**: 54–64
3. S.H. Huang, P. Liu, A. Mokeddar, L. Hou, Additive manufacturing and its societal impact: a literature review, *Int J Adv Manuf Technol.*, 2013, **67**: 1191–1203.

4. W. E. Frazier, Metal additive manufacturing: A re- view, *J of Materials Eng. and Performance*, 2014, **23(6)**: 1917-1928.
5. M. Skorski, J. Esenther, Z. Ahmed, A.E. Miller, M.R. Hartings, The chemical, mechanical, and physical properties of 3D printed materials composed of TiO₂-ABS nanocomposites, *Sci Technol Adv Mater*. 2016, **17**: 89–97.
6. T. Tabi, I.E. Sajo, F. Szabo, A.S. Luyt, J.G. Kovacs, Crystalline structure of annealed polylactic acid and its relation to processing, *Express Polymer Letters*. 2010,**4**: 659–668.
7. M. Murariu, P. Dubois, PLA composites: From production to properties, *Advanced Drug Delivery Reviews*, 2016, **107**: 17–46.
8. Lactic Acid Market & Polylactic Acid (PLA) Market Industry Report Lactic 2025, Retrieved from <https://www.grandviewresearch.com> (accessed November 12, 2018).
9. B.M. Tymrak, M. Kreiger, J.M. Pearce, Mechanical properties of components fabricated with open-source 3-D printers under realistic environmental conditions, *Materials & Design*. 2014, **58**: 242–246.
10. ASTM Standard D638-4, Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics.
11. B. Wittbrodt, J.M. Pearce, The effects of PLA color on material properties of 3-D printed components, *Additive Manufacturing*. 2015, **8**: 110–116.
12. L.J. Gibson and M.F. Ashby, Cellular Solids: Struc-ture and Properties, 2nd ed., Cambridge University Press, Cambridge, 1997.

Fatih H. Çakır

Eskişehir Vocational School,
Eskişehir Osmangazi University,
Eskişehir

Selim Gürgen

Eskişehir Vocational School,
Eskişehir Osmangazi University,
Eskişehir

Sezan Orak

Department of Mechanical
Engineering, Eskişehir Osmangazi
University, Eskişehir

M. Cemal Kuşhan

Department of Mechanical
Engineering, Eskişehir Osmangazi
University, Eskişehir

***M. Alper Sofuoğlu**

asofuoglu@ogu.edu.tr
Department of Mechanical
Engineering, Eskişehir Osmangazi
University, Eskişehir

An Experimental Investigation of the Ultrasonic-Assisted Machining of Ti6Al4V

In this study, an experimental study was performed for the ultrasonic-assisted turning of Ti6Al4V. The surface properties of titanium alloy machined by ultrasonic-assisted turning method were examined. Also, chip morphology was investigated. These measurements were compared with conventional turning operations performed with same cutting parameters. It was seen that ultrasonic-assisted turning affects surface properties. Average surface roughness was reduced, and less deformation was observed on the workpiece surface. Also, serrated and irregular chips were observed.

Keywords: Ultrasonic-assisted turning, Ti6Al4V, Surface roughness, Chip morphology

1. INTRODUCTION

Ultrasonic-Assisted Turning (UAT) is performed with low amplitude (5-30 μm) and high frequency (15-25 kHz) vibrations during cutting operations [1]. Vibrations can be applied in many directions such as cutting direction, feed direction and depth of cut direction. In some cases, the vibrations can be two or three dimensional. Due to simple of applicability and high effectivity, vibrations in cutting path are extensively preferred in UAT operations. In this process, intermittent cutting is applied in the cutting zone because oscillation of cutting tool exhibits plunging to material and back off for each vibrational cycles up to critical cutting speed magnitudes. This intermittent cutting provides a reduction in cutting forces and a duration for cooling of a cutting tool. Therefore, tool life is improved as a result of UAT method. Besides, operations are completed in more stable regions due to the reduction of chatter vibrations. For this reason, controlled chip formation is achieved while surface roughness, roundness and surface integrity of workpieces are improved significantly.

Pioneering studies on UAT method were performed in the late of 1950s. In these studies, 1D vibration was generated to excite the cutting tools. In the 1990s, 2D vibrations were benefited for the manufacturing of optic and ceramic-based components [1]. It was stated that 2D vibrations are more beneficial for the operations in comparison to

1D vibrations [2]–[4]. In the applications, 1D vibrations were generally preferable for metal parts especially in the aerospace industry [5]–[10]. An extension in tool life due reduced wear is stated in early studies [11]–[12]. As a drawback of this method, lower cutting speeds are suggested because ultrasonic vibrations are damped at high speeds which means that UAT operation turns into a conventional cutting [13].

In the literature, many attempts have been performed to understand the details of UAT method. Regarding surface finish, some early studies suggested models for predicting the surface roughness of workpiece based on vibration characteristics [14]–[15]. In some models, the relation between vibration characteristics and surface quality of workpiece was given [16]–[17]. Moreover, some investigations focused on the surface texture of workpiece after vibrational cutting methods [18]–[23]. It was observed that workpiece surface analysis of ultrasonic-assisted turning of Ti6Al4V was limited. Researchers have generally focused on cutting forces and temperatures, but the effect of ultrasonic vibration on the workpiece surface of Ti6Al4V was rarely studied.

In this study, an experimental study was carried out for the ultrasonic-assisted turning of Ti-6Al-4V. The surface roughness and microhardness of the titanium alloy (Ti6Al4V) machined by ultrasonic

assisted turning method were examined. Also, obtained chip morphology was investigated. The UAT samples were compared with conventionally machined samples.

2. EXPERIMENTAL STUDY

In this study, Ti6Al4V alloy was used as the workpiece. This alloy is widely used in aerospace applications due to its advanced mechanical and chemical properties. Table 1 gives the chemical composition, and Table 2 presents the physical and mechanical properties of the Ti6Al4V alloy [24].

Table 1. The chemical composition of the Ti6Al4V alloy (%wt)

Al	V	C	Fe	N	O	H	Ti
5.5-6.75	3.5-4.5	0.1	0.4	0.05	0.2	0.015	Bal.

Table 2. The physical and mechanical properties of the Ti6Al4V alloy

Density	4.43 g/cm ³
Melting point	1650°C
Thermal conductivity	6.6 W/m-K
Specific heat capacity	565 J/kg-K
Tensile strength	950 MPa
Yield strength	880 MPa
Tensile elongation	10%
Hardness	33 HRC

In the experimental stage, UAT equipment was adapted on a universal lathe with the help of designed fixture as shown in Figure 1. The material of the horn is aluminum. SONIKEL ultrasonic system (230 volt and 2 kW) was used. The system includes ultrasonic generator (diameter=95 mm and length=275 mm) and horn (diameter=25 mm and length=185 mm). Surface roughness measurements were carried out using a SurfTest SJ-310 profilometer (MITUTOYO) and three measurements were taken to obtain average values. A Future Tech FM700 hardness machine was used in the microhardness measurements. Table 3 gives the details of cutting tool and tool holder. Conventional turning (CT) and UAT operations were applied to compare the results. Feed rate and cutting depth were 0.1 mm/rev and 0.1 mm, respectively. Different overhang lengths were used to represent different stability cases. Tool holder lengths were used as 60 and 70 mm. Cutting speeds were 10, 20, 30, 40 m/min. In UAT method, frequency and amplitude of the vibrations were fixed at 20 kHz and 20 μ m, respectively. Levels of experimental parameters were selected according to the early studies [9], [25].

Table 3. Details of the cutting tool and tool holder

Dimensions of the tool holder	16 mm \times 16 mm \times 150mm
The material of cutting tool	WC + AlTiN
Rake angle	0°
Relief angle	7°
Tool nose radius	0.8 mm

3. EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. Surface Roughness Analysis

Table 4 gives the average surface roughness values measured for the Ti6Al4V alloy machined using two different machining methods. The results indicate that surface roughness was decreased by adding ultrasonic vibration. It was observed that average surface roughness is reduced by 11% in ultrasonic-assisted turning compared to conventional turning.

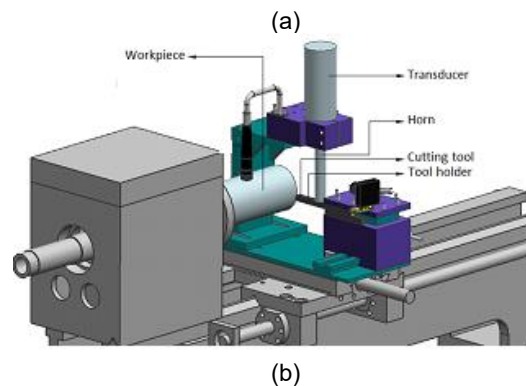
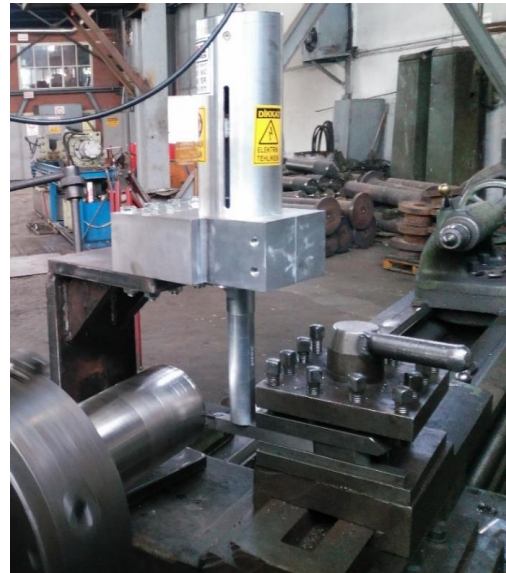


Figure 1. a) Experimental setup of UAT system; (a) photo and (b) schematic representation

Table 4. Average surface roughness values (Ra) for several cutting conditions and methods

Experiment No	Overhang length (mm)	Cutting speed (m/min)	Ra after CT (μm)	Ra after UAT (μm)
1	60	10	2.53	2.39
2	60	20	2.18	2.07
3	60	30	2.06	1.96
4	60	40	1.69	1.79
5	70	10	3.26	2.32
6	70	20	2.64	2.5
7	70	30	2.82	2.3
8	70	40	2.57	2.19

According to the experimental test with different cutting conditions; surface roughness values in the ultrasonic-assisted turning of Ti6Al4V are given in Figure 2. When the cutting speed increases and tool overhang length decreases, the surface quality increases.

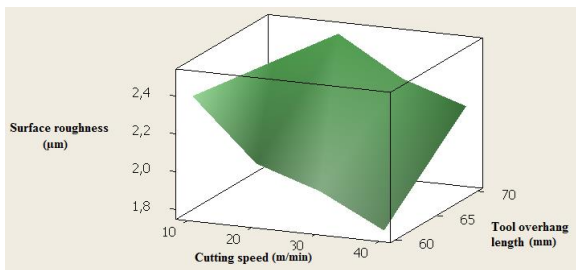


Figure 2. Variation of surface roughness in UAT

In terms of cutting method, UAT operation significantly improves the surface quality in comparison to the conventional turning method used in this study. The reason is that cutting forces are reduced because of the intermittent motion. Therefore, the surface roughness of workpiece is reduced. Also, the surface roughness of workpiece increases at lower cutting speeds as mentioned by [26]. The reason is that the occurrence of built-up edge (BUE) when machining multiphase materials at lower cutting speeds. Increasing cutting speed improves tool life. Cutting tool overhang length also affects the surface roughness because longer tool overhang length causes excessive cutting tool deflection.

3.2. Micro Hardness Analysis

Micro-hardness measurements were taken from the titanium workpiece cross-section to determine the work hardened section. The hardness measurement was carried out for conventional and ultrasonic assisted machined specimens with a cutting speed of

10 m/min at an overhang length of 60 mm and a feed rate of 0.1 mm/rev. to understand the effect of ultrasonic vibrations. The micro-hardness tests were performed with a load of 200 g-forces and a dwell time of 10 seconds. In Figure 3, the vertical axis is the hardness value as Vickers, and the horizontal axis represents the measurement depth from the surface. Measurements were taken with 15-micron interval distances. According to the results, it was observed that the hardness values close to the surface are smaller in ultrasonic assisted turning method compared to conventional machining. Therefore, it was seen that the surface deformation and hardening are less effective in UAT and the hardening effect remains on the surface of the cross-section either. In Patil et al.'s study [9], the average hardness value on UAT surface was decreased by 16%. Less deformed grains are evident on UAT machined surface, which indicates lower machined surface hardness.

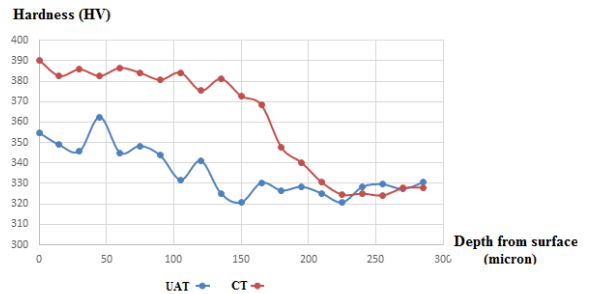


Figure 3. Microhardness values of conventional and ultrasonic-assisted machined specimens

3.3. Chip Morphology

Continuous chip was observed after ultrasonic-assisted machining. Figs. 4-6 show the chip shapes obtained after ultrasonic-assisted turning of Ti6Al4V. When the shape of the chips was examined, it was observed that the chips are serrated and have the irregular shape. It can be said that vibration causes serration and irregular shape of chips. The chips were not broken off because of the fast intermittent mechanism and the workpiece/tool material properties. It was also observed that the results were consistent with the literature study [27].

CONCLUSIONS

In this study, surface properties and chip morphology were investigated in ultrasonic-assisted turning. The results can be summarized as follows:

1. It was observed that average surface roughness was reduced by 11% in ultrasonic-assisted turning compared to conventional turning.

2. Ultrasonic-assisted turning method generated less deformation on the surface, so it was obtained that the surface deformation hardening effect is less dominant than conventional turning and the hardening effect remains on the surface of the cross-section. However, it should be noted that the measured hardness difference was about of 30-40 HV only.

3. The generated chip with UAT method was continuous, serrated and irregular.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was financially supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TÜBİTAK Project #215M382) and the Research Fund of Eskişehir Osmangazi University (ESOGU BAP Project #2016-1086).

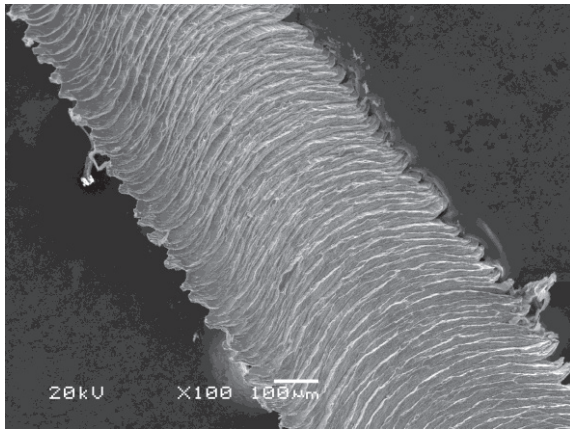


Figure 4. SEM image of the conventional machined Ti6Al4V chip (Interior region, cutting speed=40 m/min)

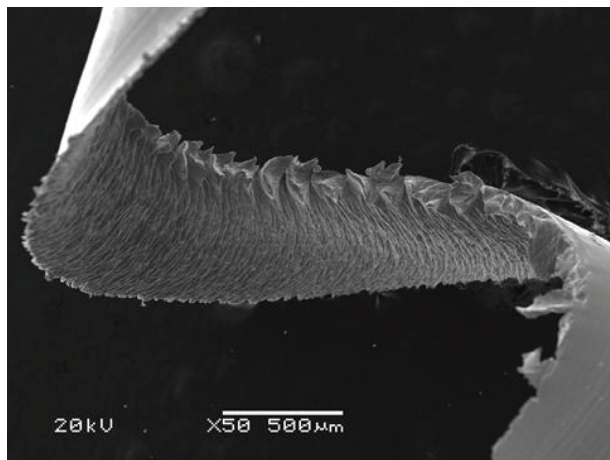


Figure 5. SEM image of the ultrasonic-assisted machined Ti6Al4V chip (External region, cutting speed=40 m/min)

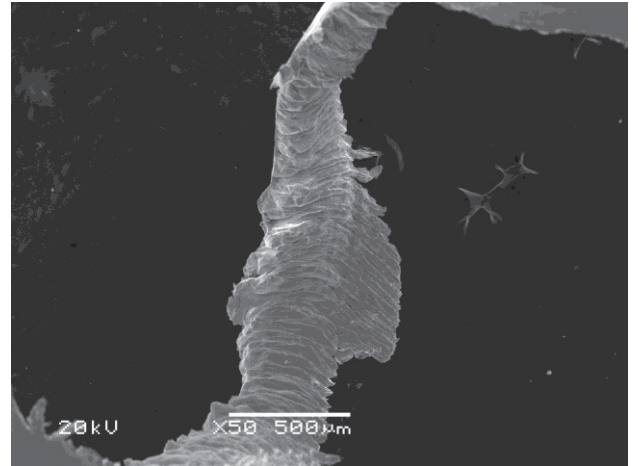


Figure 6. SEM image of the ultrasonic-assisted machined Ti6Al4V chip (Interior region, cutting speed=40 m/min)

REFERENCES

1. D. E. Brehl and T. A. Dow, "Review of vibration-assisted machining," *Precis. Eng.*, vol. 32, no. 3, pp. 153–172, 2008.
2. D. E. Brehl, T. A. Dow, K. Garrard, and A. Sohn, "Micro-structure fabrication using elliptical vibration-assisted machining (EVAM)," in *ASPE Proceedings*, 1999, vol. 39, pp. 511–515.
3. E. Shamato, "Ultraprecision micromachining of hardened die steel by applying elliptical vibration cutting," *JSME News*, vol. 16, pp. 1–4, 2005.
4. E. Shamato, N. Suzuki, E. Tsuchiya, Y. Hori, H. Inagaki, and K. Yoshino, "Development of 3 DOF Ultrasonic Vibration Tool for Elliptical Vibration Cutting of Sculptured Surfaces," *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 54, no. 1, pp. 321–324, 2005.
5. V. Babitsky, A. Mitrofanov, and V. Silberschmidt, "Ultrasonically assisted turning of aviation materials: simulations and experimental study," *Ultrasonics*, vol. 42, no. 1–9, pp. 81–86, 2004.
6. N. Ahmed, A. V. Mitrofanov, V. I. Babitsky, and V. V. Silberschmidt, "Analysis of material response to ultrasonic vibration loading in turning Inconel 718," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 424, no. 1–2, pp. 318–325, 2006.
7. A. Maurotto, R. Muhammad, A. Roy, V. I. Babitsky, and V. V. Silberschmidt, "Comparing Machinability of Ti-15-3-3-3 and Ni-625 Alloys in Uat," *Procedia CIRP*, vol. 1, pp. 330–335, 2012.
8. M. Khajezadeh, M. Akhlaghi, and M. R. Razfar, "Finite element simulation and

- experimental investigation of tool temperature during ultrasonically assisted turning of aerospace aluminum using multicoated carbide inserts,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 75, no. 5–8, pp. 1163–1175, 2014.
9. S. Patil, S. Joshi, A. Tewari, and S. S. Joshi, “Modelling and simulation of effect of ultrasonic vibrations on machining of Ti6Al4V,” *Ultrasonics*, vol. 54, no. 2, pp. 694–705, 2014.
 10. F. H. Cakir, S. Gurgen, M. A. Sofuoglu, O. N. Celik, and M. C. Kushan, “Finite Element Modeling of Ultrasonic Assisted Turning of Ti6Al4V Alloy,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 195, pp. 2839–2848, 2015.
 11. V. S. Sharma, M. Dogra, and N. M. Suri, “Advances in the turning process for productivity improvement – a review,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 222, no. 11, pp. 1417–1442, 2008.
 12. D. E. Brehl and T. A. Dow, “Review of vibration-assisted machining,” *Precis. Eng.*, vol. 32, no. 3, pp. 153–172, 2008.
 13. M. Farahnakian and M. R. Razfar, “Experimental Study on Hybrid Ultrasonic and Plasma Aided Turning of Hardened Steel AISI 4140,” *Mater. Manuf. Process.*, vol. 29, no. 5, pp. 550–556, 2014.
 14. E. Shamoto, N. Suzuki, and R. Hino, “Analysis of 3D elliptical vibration cutting with thin shear plane model,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 57, no. 1, pp. 57–60, 2008.
 15. E. Shamoto and T. Moriwaki, “Study on Elliptical Vibration Cutting,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 43, no. 1, pp. 35–38, 1994.
 16. C. F. Cheung and W. B. Lee, “Modelling and simulation of surface topography in ultra-precision diamond turning,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.*, vol. 214, no. 6, pp. 463–480, 2000.
 17. D.-S. Kim, I.-C. Chang, and S.-W. Kim, “Microscopic topographical analysis of tool vibration effects on diamond turned optical surfaces,” *Precis. Eng.*, vol. 26, no. 2, pp. 168–174, 2002.
 18. S. A. Sajjady, H. Nouri Hossein Abadi, S. Amini, and R. Nosouhi, “Analytical and experimental study of topography of surface texture in ultrasonic vibration assisted turning,” *Mater. Des.*, vol. 93, pp. 311–323, 2016.
 19. C. Zhang, K. Ehmann, and Y. Li, “Analysis of cutting forces in the ultrasonic elliptical vibration-assisted micro-groove turning process,” *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 78, no. 1–4, pp. 139–152, 2015.
 20. P. Guo and K. F. Ehmann, “Development of a tertiary motion generator for elliptical vibration texturing,” *Precis. Eng.*, vol. 37, no. 2, pp. 364–371, 2013.
 21. C. Zhang, P. Guo, K. F. Ehmann, and Y. Li, “Effects of ultrasonic vibrations in micro-groove turning,” *Ultrasonics*, vol. 67, pp. 30–40, 2016.
 22. S. Amini, H. N. Hosseinabadi, and S. A. Sajjady, “Experimental study on effect of micro textured surfaces generated by ultrasonic vibration assisted face turning on friction and wear performance,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 390, pp. 633–648, 2016.
 23. V. V. Silberschmidt, S. M. A. Mahdy, M. A. Gouda, A. Naseer, A. Maurotto, and A. Roy, “Surface-roughness Improvement in Ultrasonically Assisted Turning,” *Procedia CIRP*, vol. 13, pp. 49–54, 2014.
 24. “Titanium Alaşımları Teknik Özellikleri.” [Online]. Available: <http://www.akyaymetal.com.tr/titanyum-alasimlari>. [Accessed: 18-Jul-2018].
 25. E. Türkeş, “Theoretical and Experimental Analysis of Process Damping in Machine Tool Chatter Vibration,” Phd thesis, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2007.
 26. Z. Hessainia, A. Belbah, M. A. Yallese, T. Mabrouki, and J.-F. Rigal, “On the prediction of surface roughness in the hard turning based on cutting parameters and tool vibrations,” *Measurement*, vol. 46, no. 5, pp. 1671–1681, 2013.
 27. R. Muhammad, “Hot ultrasonically assisted turning of Ti-15V3Al3Cr3Sn: experimental and numerical analysis” Phd thesis, Loughborough University, UK, 2013.

Celal Onur Alkaş

İmalat Yük. Müh.
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Hasan Ali Hatipoğlu

Dr.
Takım Tasarım Müh.
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Fuat Kamışlı

İmalat Mühendisliği Şefi
Türk Havacılık ve Uzay Sanayii
Ankara

Celalettin Karadoğan

Dr.
ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

Caner Şimşir

Dr.
ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

Sac Metal Gerdirme Prosesinin Sayısal Modellenmesi ve Analiz Sonuçlarının Doğrulanması

Gerdirek şekillendirme (GŞ) operasyonu, özellikle havacılık sektöründe gövde kabukları gibi büyük yüzey alanına sahip karmaşık geometrilerde detay parçaların üretimi için yaygın olarak kullanılan bir işlemdir. Şekillendirme esnasında kullanılan çene-kalıp hareketleri ve kullanılan yağlayıcı gibi operasyon parametreleri genellikle deneme-yanılma süreci ile tespit edilmektedir. Bu çalışmada, sonlu elemanlar yöntemi ile operasyon parametreleri tespit edilerek, optik deformasyon ölçüm sistemleri ile elde edilen gerinim oranları karşılaştırılmıştır. Alüminyum alaşımlarının mekanik malzeme özelliklerini belirlemek için çekme, hidrolik şişirme ve şekillendirme sınır diyagram testleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra, farklı sürtünme koşullarında ortaya çıkan Coulomb katsayısının tespit edilmesine yönelik deneysel bir düzenek tasarlanmıştır. Çalışma kapsamında elde edilen çıktılar gerçek bir uçak parçasının şekillendirme işleminin sayısal modellenmesinde kullanılmış ve sonuçlar gerçek deformasyon verileri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gerdirek Şekillendirme Prosesi (GŞP), Şekillendirme Sınır Diyagramı(ŞSD), Hidrolik Şişirme Testi (HŞT), Optik Deformasyon Ölçümü, Sonlu Elemanlar Yöntemi

1. GİRİŞ

Gerdirek şekillendirme (GŞ) operasyonu, çeneler vasıtası ile sıkıştırılan ve gerdirilen sac malzemenin kalıp üzerine giydirilmesi yöntemidir. Bu yöntem ile negatif ve pozitif olmak üzere farklı konturları barındıran geniş yüzey alanına sahip karmaşık geometriler şekillendirilmektedir [1].

Şekil 1’de gösterildiği üzere; gövde kabukları, kanat parçaları, kuyruk yapıları gibi birçok uçak parçasının imalatında bu şekillendirme işlemi kullanılmaktadır.



Şekil 1. GŞ operasyonu

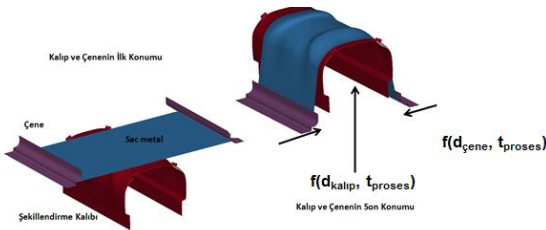
GŞ operasyonu süresince iş parçası üzerinde kalıp ve çene bağlı hareketleri ayarlanarak, çekme ve bükme kuvvetleri beraber uygulanmaktadır. Kırışma-yırtılma ve form almama gibi problemleri elimine etmek adına takım hareketlerinin hassas ve kontrollü bir yöntem ile ayarlanması gerekmektedir [2].

Operasyon süresince sac parçanın kalıp üzerinde fazla gerdirilmesi yırtılma, az gerdirilmesi ise kırışıklık problemi ile sonuçlanmaktadır. Bu nedenle, kalıp-çene hareketlerinin operasyon üzerindeki etkisi oldukça önemlidir (Şekil 2). Bu çalışmada, SE yöntemi kullanılarak takım hareketleri tespit edilmiştir ve elde edilen işlem parametreleri deneysel olarak Cyril-Bath presinde deney parçaları ve gerçek uçak parçası üzerinde uygulanmıştır. Öncelikle alüminyum alaşımlarının deformasyon davranışını ve limitlerini ortaya koymak adına; çekme, hidrolik şişirme (HŞ) ve şekillendirme sınır diyagramı (ŞSD) gibi mekanik malzeme karakterizasyon testleri yapılmıştır. İkinci olarak, farklı yağlayıcı koşullarının sürtünme katsayısı üzerindeki etkisini sayısal olarak tespit etmek amacıyla yeni bir deney düzeni geliştirilmiş; yağ, naylon ve silikon gibi yağlayıcı katmanlar kullanıldığında ortaya çıkan sürtünme katsayısı değeri hesaplanmıştır. Bu veriler SE

modellerinde girdi olarak kullanılmış olup, analiz sonuçları 3-D optik deformasyon ölçüm sistemi olan GOM-ARGUS cihazı kullanılarak doğrulanmıştır.

Gerdirek şekillendirme işlemi derin çekme, kabartma gibi birçok sac metal deformasyon operasyonunda kullanılmaktadır. Bu nedenle, bilimsel araştırmalar içerisinde bu isimle ilgili olarak çok sayıda yayına rastlanmaktadır. Ancak sadece GŞ operasyonuna özgü yeterli sayıda yayın bulunmamaktadır. Özellikle havacılık sektöründe faaliyet gösteren firmaların gizlilik politikaları da bu konudaki önemli kısıtlardan biri olarak gösterilebilir. GŞ operasyonunda son yıllarda tamamlanmış en önemli çalışmalar operasyonda kullanılan aparatlar üzerinde yapılan geliştirmeler ile ilgilidir. Bu operasyonun adimsal şekillendirme prosesi ile entegre edilerek yürütülmesi [3] ve ayarlanabilir çok noktalı gerdirek şekillendirme kalıbının geliştirilmesi [4] en önemli teknolojik gelişmeler olarak özetlenebilir. Bunun yanı sıra, GŞ operasyonunda Lüder çizgilerinin oluşmasını önlemek adına ara ısıl işlem fazları ile şekillendirme sınırının artırılmasına yönelik deneysel ve sayısal bir çalışmada bulunmaktadır. Bu çalışmada, Wegter akma fonksiyonu ile alüminyum alaşımlarına yönelik çift eksenli deformasyon ve anizotropi davranış modelleri geliştirilmiştir ve modelin doğrulanması için fotogrametri tekniği kullanılmıştır [5].

Bu çalışmada ise, farklı takım hareketleri ile yürütülen deneyler sonlu elemanlar analizi ile modellenerek, deformasyon davranışları göz önünde bulundurularak karşılaştırma yapılmıştır.



Şekil 2. GŞ operasyonu için kalıp-çene hareketlerinin gösterimi

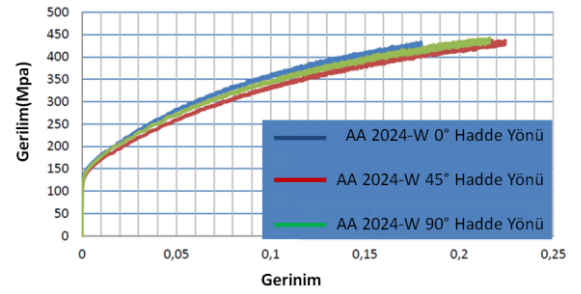
2. MEKANİK MALZEME KARAKTERİZASYONU

SE yöntemi için hassas ve güvenilir bir malzeme modeli oluşturmak için AA 2024 malzemenin farklı anizotropi yönleri, farklı kalınlık ve ısıl işlem durumları için mekanik malzeme özelliklerinin tespitine yönelik çekme, HŞ ve ŞSD testleri yapılmıştır. Elde edilen veriler malzeme modelinin oluşturulmasında ve SE analiz sonuçlarının yorumlanmasında kullanılmıştır.

2.1. Çekme Testleri

Standart çekme testleri, AA 2024-0 ve AA 2024-W malzemeler için, 3 tekrarlı ve farklı kalınlık ve anizotropi yönlerini de kapsayacak şekilde ISO 6892 standardına göre yürütülmüştür [6].

Çekme testleri 0,01 sn⁻¹ gerinim hızında 300 kN kapasiteli Zwick/Z300 harici ekstansometreli çekme test cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AA 2024-W malzeme için hadde yönüyle farklı açılar yapan (0, 45, 90) numunelerde elde edilen Gerilim-Gerinim eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir. Çekme testi ile AA 2024 alüminyum alaşımlı malzemenin mekanik özellikleri malzemenin -0 (tavlanmış) ve -W (çözeltili) ısıl işlemleri ile birlikte Clad'li ve Clad'siz numuneler için elde edilmiştir ve Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. 2024-W malzemenin farklı anizotropi yönleri için Gerilim-Gerinim Eğrisi

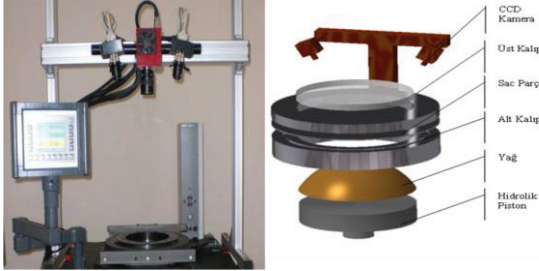
Tablo 1. AA 2024-0 ve -W malzemenin mekanik özellikleri

Alaşım	2024-0	2024-0 Clad	2024-W	2024-W Clad
R₀	0.65	0.63	0.74	0.80
R₄₅	0.83	0.75	0.87	0.78
R₉₀	0.60	0.65	1.14	0.89
n	0.226	0.257	0.270	0.260
E(GPa)	73.1	73.1	67.1	67.1
K(MPa)	326.8	336.5	669.8	779.7
UTS(MPa)	171	168	447	518
σ_y (MPa)	72	58.5	147	165
ν	0.33	0.33	0.33	0.33
ρ (g/mm³)	2.73e-6	2.73e-6	2.73e-6	2.73e-6

2.2. Hidrolik Şişirme (HŞ) Testleri

Çekme testi tek eksenli deformasyon durumunu ifa ettiği için, daha yüksek gerinim oranlarında deformasyon davranışını elde etmek ve çekme testi

sonuçları ile kıyaslamak adına HŞ testleri yürütülmüştür [7]. Çift eksenli deformasyon testleri için Aramis entegre edilmiş 60kN kapasiteli Zwick/Roell BUP600 test cihazı kullanılmıştır (Şekil 4). Test numunesi olarak 200 mm kenar ölçüsünde numuneler hazırlanarak, numune üzerinden deformasyon dağılımını elde edebilmek adına stokastik markalama yapılmıştır (Şekil 5).

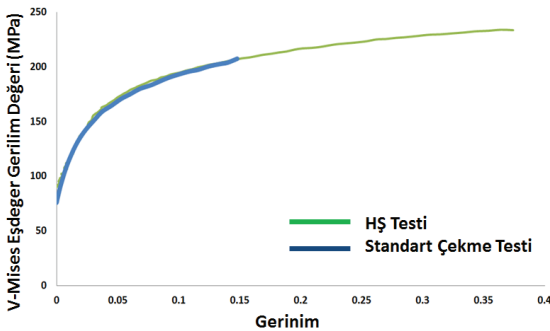


Şekil 4. Aramis entegreli 60 kN kapasiteli HŞ test düzeneği ve deney düzeneğinin 3-D gösterimi

AA 2024-0 malzeme için 0,15 gerinim değeri elde edilirken; HŞ testi ile bu değer 0,4 gerinim değerine kadar elde edilmiştir. Her 2 test yöntemi ile tespit edilen sonuçlar gerinim değerleri göz önüne alındığında farklılık göstermesine rağmen, gerilim değerleri birbiri ile uyumludur (Şekil 6).



Şekil 5. Stokastik yöntem ile markalanmış HŞ test numunesinin başlangıç ve final gösterimi

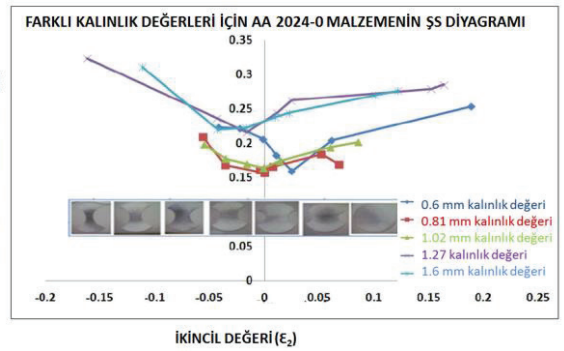


Şekil 6. 2024-0 alüminyum alaşımına yönelik elde edilmiş HŞ ve çekme testi sonuçları.

2.3. Şekillendirme Sınır Diyagramı (ŞSD) Testleri

GŞ operasyonu esnasında oluşabilecek yırtılma ve kırılma gibi problemlerin SE analizi ile yorumlanabilmesi için ŞS diyagramı testleri yürütülmüştür. Bu diyagram tek eksenli çekme durumundan çift eksenli çekme durumuna kadar farklı deformasyon yükleri altında malzemenin şekillendirme limitini göstermektedir. [8] AA 2024-0 malzemesinin farklı kalınlıkları için tek eksenli çekme durumundan çift eksenli deformasyon durumuna kadar deformasyon limitlerini belirlemek amacıyla 7 ayrı geometriden oluşan Nakazima test numuneleri üretilmiştir. Testler GOM-Aramis entegreli 600 kg-f kapasiteli Zwick/BUP 600 cihazı kullanılarak ISO 12004-2 [9] standardına uygun olarak yürütülmüştür.

2024-0 alüminyum alaşımının farklı kalınlıkları için elde edilen ŞS diyagramları Şekil 7'de gösterilmiştir. Elde edilen değerler, alüminyum alaşımına yönelik yürütülen SE analizinin yorumlanması için kullanılmıştır.



Şekil 7. AA 2024-0 malzemesinin şekillendirme sınır diyagramları

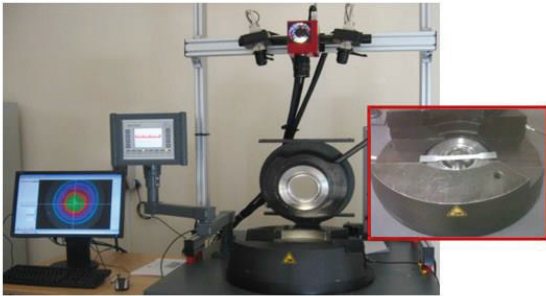
3. SÜRTÜNME KATSAYISININ TESPİTİNE YÖNELİK TESTLER

GŞ operasyonunda, geniş yüzey alanına sahip paneller şekillendirilmektedir. Bu nedenle, kalıp-iş parçası ara yüzeyinde oluşan sürtünme kuvveti etkisi oldukça önemli bir işlem parametresi olarak kabul edilmelidir [10]. Proses esnasında, kalıp yüzeyi genellikle yağlanmaktadır. Ancak yağ uygulaması ile birlikte kuru kalıp, naylon veya silikon kaplı kalıplar kullanılarak işlem gerçekleştirilebilmektedir. Uygulanacak olan yağlayıcı tipi deneme yanılma yöntemi ile seçilmektedir. SE analizi ile daha güvenilir sonuçlar elde edebilmek için farklı yağlayıcı durumları için sürtünme katsayısının sayısal olarak elde edilmesi önemlidir. Bu amaçla, farklı yağlayıcı yüzeyleri deneysel olarak oluşturulmuş ve bu deney düzeneği modellenerek farklı sürtünme

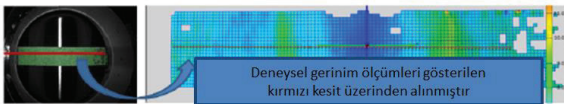
katsayıları ile SE analizleri yürütülmüştür. Deneysel çalışmalarda GOM-Aramis DIC sistemi entegre edilmiş BUP600 test cihazı kullanılmıştır. Elde edilen deneysel deformasyon sonuçları ile farklı sürtünme katsayıları ile yürütülen analizler karşılaştırılmış ve kullanılan yağlayıcı durumu için en uygun sürtünme katsayısı tespit edilmiştir. Deney düzeneğinde kullanılan kalıp, GŞ işleminde kullanılan kalıp malzemesi ve yüzey özellikleri dikkate alınarak üretilmiştir. Deneysel çalışmalarda, belirtilen kalıp malzemesi aşağıda belirtilen 4 farklı yağlayıcı durumu için incelenmiştir [11].

- Kuru kalıp ile,
- Yağlı kalıp ile,
- Naylon film çekilmiş ve yağlı kalıp ile,
- Silikon film kullanılmış ve yağlı kalıp ile.

Deneysel çalışmalarda Zwick/BUP600 Erichsen test cihazı kullanılmıştır. Çekme numunesi olarak alüminyum alaşımlı malzemelerden su jeti yöntemi ile üretilmiş basit çekme testi numunesi kullanılmıştır (Şekil 8). Düzenekte kullanılan kalıp, GŞ operasyonunda kullanılan kalıplar ile aynı malzemeden aynı üretim geçmişine sahip şekilde üretilmiştir (GGG 45 çeliği ve $R_a = 1,6 \mu m$). 150 kN pot çemberi kuvveti kullanılarak yapılan deneylerde sac numune yırtılana kadar deforme edilmiştir ve deformasyon dağılımı CCD kameralar ile kayıt altına alınmıştır. Bu çalışma farklı alüminyum alaşımları için GŞ işleminde kullanılan tüm yağlayıcı koşulları için gerçekleştirilmiştir. Aşağıdaki şekilde gösterilen kesit üzerinden alınan birincil-ikincil gerinim değerleri daha sonra farklı sürtünme katsayıları ile yürütülen analizler ile karşılaştırmak üzere kaydedilmiştir (Şekil 9).

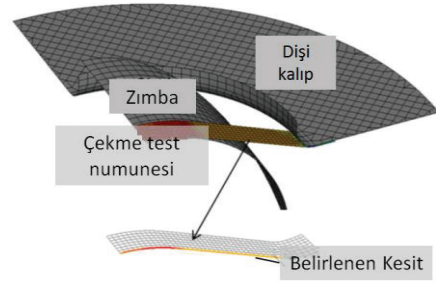


Şekil 8. Sürtünme test düzeneği (GOM-Aramis DIC entegrasyonlu 60 kg-f BUP600 test cihazı ve çekme testi numunesi)



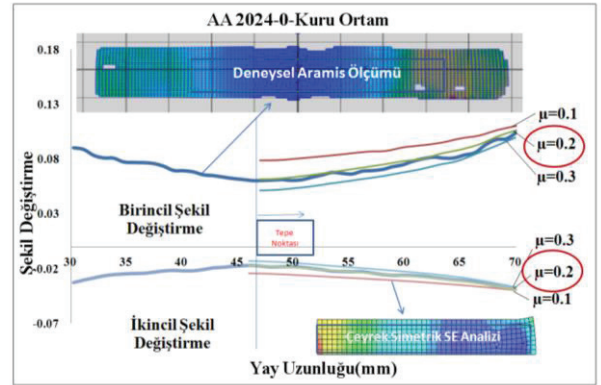
Şekil 9. Aramis'ten alınmış deformasyon dağılımı gösterimi (Deneysel gerinim ölçüleri gösterilen kesit üzerinden alınmıştır)

Sayısal modelleme ticari bir yazılım olan LS-Dyna yazılımı kullanılarak tamamlanmıştır. Sürtünme deney düzeneği çeyrek simetri kullanılarak modellenmiştir (Şekil 10). Sac malzeme kalınlık boyunca 5 entegrasyon noktası ile Belytschko-Tsay kabuk eleman kullanarak modellenmiştir. Temas algoritması için penaltı metodu kullanılmıştır ve 0.05, 0.075, 0.10-...-0.35'e kadar farklı Coulomb sürtünme katsayıları kullanılmıştır.



Şekil 10 : Sürtünme deney düzeneğinin sayısal modellenmesi (Çeyrek-simetrik SE modeli)

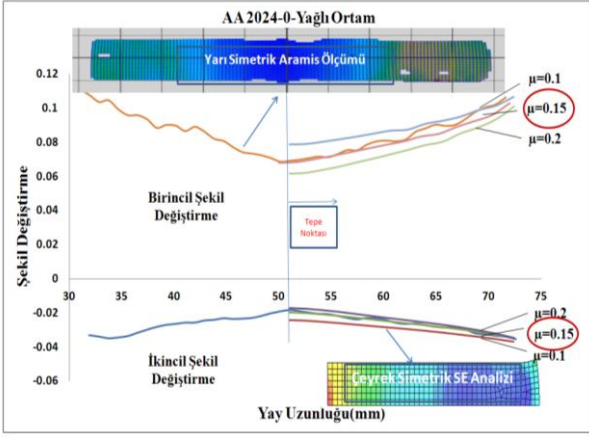
Kuru ortam için 0,2 değerinde (Şekil 11), yağlı ortam için 0,15 (Şekil 12) ve naylon film kaplı kalıp koşulunda 0,1 (Şekil 13) Coulomb sürtünme katsayısı tespit edilmiştir. Bu değerler, farklı alüminyum alaşımları için Tablo 2'de özetlenmiştir ve birbirinden farklı veya birleşik yağlayıcı koşullarında sayısal modellemede kullanılmak üzere kayıt altına alınmıştır.



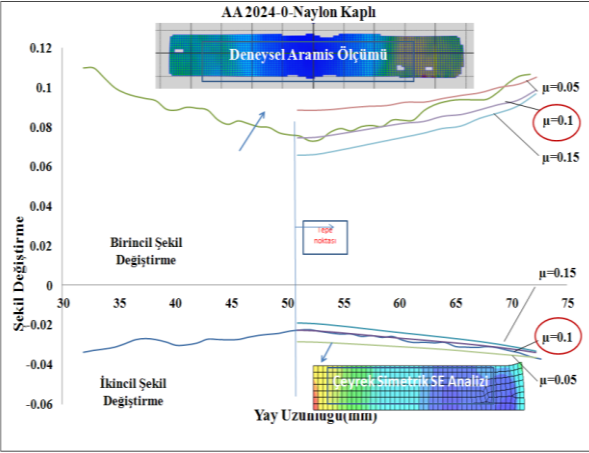
Şekil 11. Kuru kalıp ortamında birincil ve ikincil gerinim değerleri kesit üzerinden karşılaştırıldığında 0.2 Coulomb sürtünme katsayısı en uygun sonucu vermiştir.

Tablo 2. Coulomb sürtünme katsayıları

Yağlayıcı	2024-0	2024-0 Clad	6061-0	7075-0	7075-0 Clad
Kuru	0.20	0.25	0.20	0.175	0.20
Yağlı	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Naylon	0.10	0.125	0.10	0.10	0.10
Silikon	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05



Şekil 12. Yağlı kalıp ortamında birincil ve ikincil gerinim değerleri kesit üzerinden karşılaştırıldığında 0.15 Coulomb sürtünme katsayısı en uygun sonucu vermiştir.

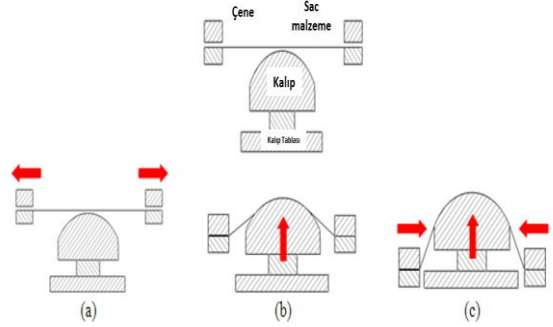


Şekil 13. Naylon film kaplı kalıp ortamında birincil ve ikincil gerinim değerleri kesit üzerinden karşılaştırıldığında 0,1 Coulomb sürtünme katsayısı en uygun sonucu vermiştir

4. GERDİREREK ŞEKİLLENDİRME OPERASYONUNA YÖNELİK DENEYSEL ÇALIŞMALAR

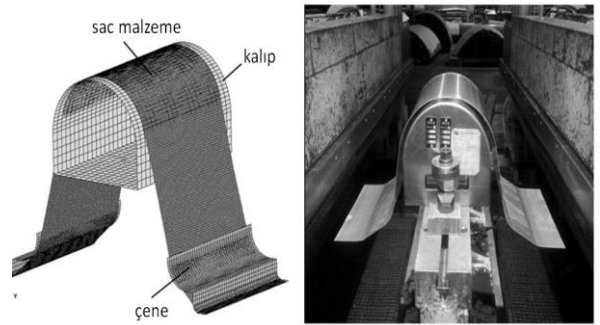
Deneysel çalışmalarda 750 ton kapasiteli Cyril-Bath presi ve 3-D optik deformasyon ölçüm sistemi olan GOM-ARGUS kullanılmıştır. Test numunesi olarak elektro-kimyasal aşındırma ile 3 mm'lik dairesel şablon ile markalanmış 2024-0 dikkörtgen sac malzeme kullanılmıştır. Testler 3 tekrarlı olacak şekilde yürütülmüştür. Yarı-dairesel bir gerdirme kalıbı üretilerek kuru şekilde (yağlama olmadan) deneylerde kullanılmıştır. Deneylerde 3 temel GŞ hareketi üzerinde çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu hareketler Şekil 14'te gösterildiği üzere şu şekilde özetlenebilir [12].

- 1) Sadece çene kuvveti kullanarak gerdirme,
- 2) Çeneler sabit tutularak kalıp ile gerdirme,
- 3) Çene-kalıp bağımlı hareketlerini kullanarak parça şekillendirme olarak yürütülmüştür.



Şekil 14. GŞ prosesinde kullanılan kalıp-çene hareketlerinin gösterimi

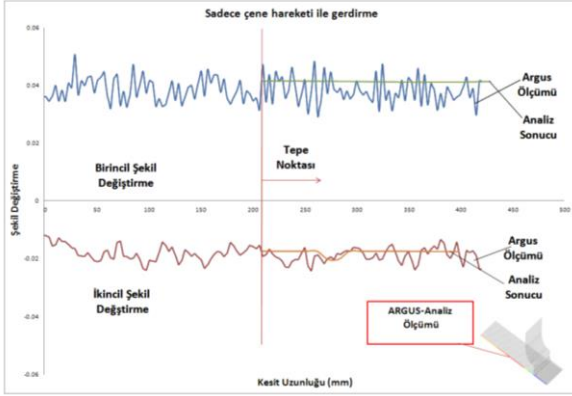
Şekil 15'de SE modelinde kullanılan üç ayrı model gösterilmiştir. Şekillendirme Kalıbı (deforme olmayan-rijit), sac malzeme (elasto-plastik) ve çene (deforme olmayan-rijit) çeyrek simetrik olarak modellenmiştir. Sac metal Belytschko-Tsay kabuk elemanlar kullanılarak kalınlık boyunca 5 integrasyon noktası kullanılarak modellenmiştir. Temas algoritması olarak penaltı yöntemi ve Coulomb sürtünme katsayısı kullanılmıştır. Analizler deneysel olarak kuru ortamda gerçekleştiği için SE analizinde sürtünme katsayısı olarak 0,2 Coulomb değeri kullanılmıştır. Malzeme üzerinden deneysel çalışmalarda alınan aynı kesit üzerinden birincil-ikincil gerinim değerleri alınarak analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



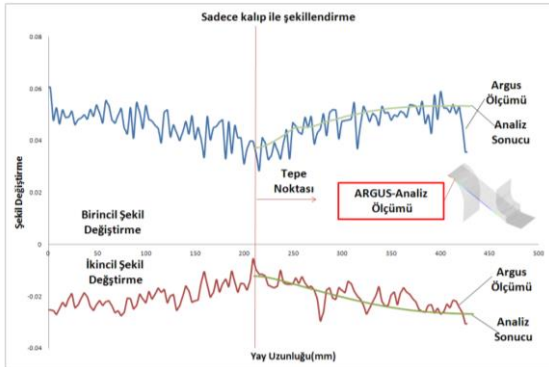
Şekil 15. Deneysel çalışmalar için hazırlanmış SE modeli ve gerçek operasyonun gösterimi

Optik deformasyon ölçümü ve SE analizinden belirli bir kesit boyunca alınan sonuçlar Şekil 16'da gösterildiği şekilde karşılaştırılmıştır. Birincil-ikincil deformasyon değerleri, deneysel ve analiz çalışmalarından alınan aynı kesit boyunca

karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar; çene ile gerdirme (Şekil 16) ve kalıp ile gerdirme durumları için (Şekil 17) iyi uyum göstermiştir. Bunun yanı sıra, son çalışmada çene-takım hareketleri analiz ile belirlenmiş olan proses parametreleri deneysel olarak GŞ tezgahında kullanılmıştır. Bu çalışmada 2024-0 malzeme kullanılmıştır ve FLD eğrisinde sac numunenin yırtıldığı ana kadar aynı proses parametreleri uygulanmıştır. Çene ve kalıp hareketlerinin birlikte kullanıldığı SE analizinde yırtılan parçanın, deneysel olarak aynı proses parametrelerinde yırtılması Şekil 18’de gösterildiği gibi doğrulanmıştır.



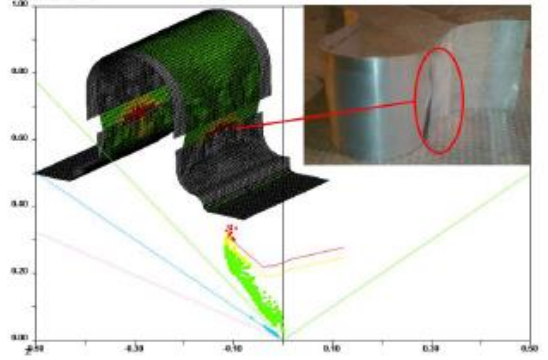
Şekil 16. Sadece çekme işleminin, deneysel optik deformasyon ölçüm cihazı (GOM-Argus) ile sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 17. Sadece kalıp kullanılarak şekillendirme işleminin, deneysel optik deformasyon ölçüm cihazı (Argus) ile sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması

5. ÖRNEK ÇALIŞMA

Bu çalışmada, Temel Eğitim ve Başlangıç Uçağı ön kokpit paneli üzerine deneysel ve sayısal çalışmalar yapılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [12]. Deneysel çalışmalarda, AA 2024-0 ($t=1,6\text{mm}$) dikdörtgen sac malzeme kullanılmıştır (Şekil 19).



Şekil 18. Kalıp-çene senkronizasyonunun beraber uygulandığı deneme çalışmasında yırtılma anı ŞSD ile tespit edilmiştir ve takım hareketleri tezgahta NC kontrol ünitesinde uygulanarak SE analizi deneysel doğrulanmıştır.

Elektro-kimyasal markalama ile 3 mm’lik dairesel şablon oluşturulmuştur ve deformasyon ölçümleri bu şablon üzerinden alınmıştır (Şekil 20). Sac malzemenin şekillendirme işleminde 750 ton kapasiteli Cyril-Bath presi kullanılmıştır. 3 tekrarlı deneme öncesinde, fırça ile yağlayıcı kalıp üzerine sürülerek uygun yağlayıcı koşulu sağlanmıştır. Deformasyon sonrası, 3-D optik gerinim ölçüm cihazı (GOM-ARGUS) kullanılarak parçanın üzerindeki deformasyon dağılımı deneysel olarak elde edilmiştir.

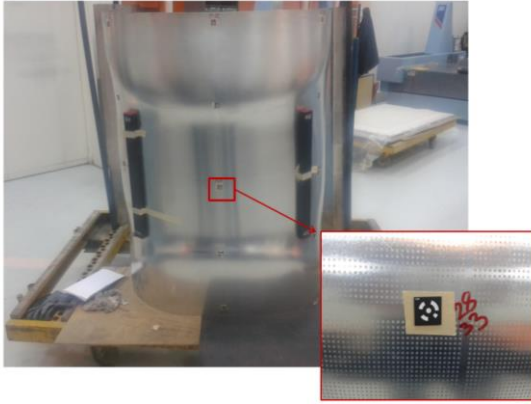
Sayısal modelleme işleminde kullanılan parametreler deneysel çalışmalar ile aynıdır. Tek fark deneysel olarak yağlayıcı kullanıldığı için 0,15 sürtünme katsayısı kullanılmıştır. Operasyon çeyrek simetrik çeyrek modellenmiştir. Coulomb sürtünme katsayısı olarak 0,15 değeri uygulanmıştır. Sac numune daha önce harici ekstansometreli çekme testinden elde edilen Lankford parametreleri kullanılarak Anizotropik modellenmiştir (Şekil 21).

Analiz çalışmasından elde edilen kalıp-çene hareketlerinin presin NC kontrol ünitesine girilmesi ile senkronize bir yörünge belirlenmiş ve daha önceden deneysel olarak belirlenmiş olan kalıp-çene hareketleri ile 45 dakika süren şekillendirme süresi 3 dakikaya düşürülmüştür.

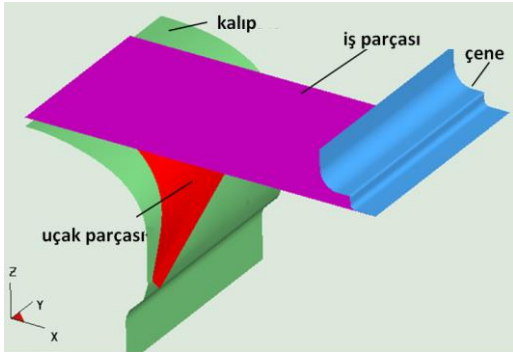
2024-0 malzemenin ŞS diyagramı analiz sonuçlarını yorumlamak için kullanılmıştır. Şekil 22’de görüldüğü üzere yeterli gerinim değerlerine ulaşan sac malzemenin belirli konturlarında kırılma eğilimi olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 19. Temel Eğitim ve Başlangıç Uçağı ön kokpit panelinin şekillendirilmesi (750 ton kapasiteli Cyril-Bath tezgahı)



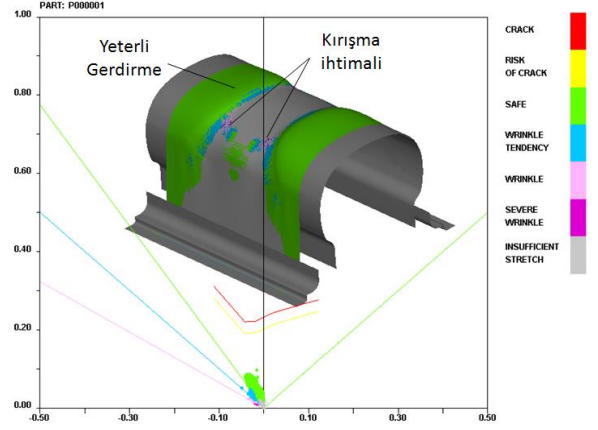
Şekil 20. Optik deformasyon ölçümü ve dairesel şablon'un gösterimi



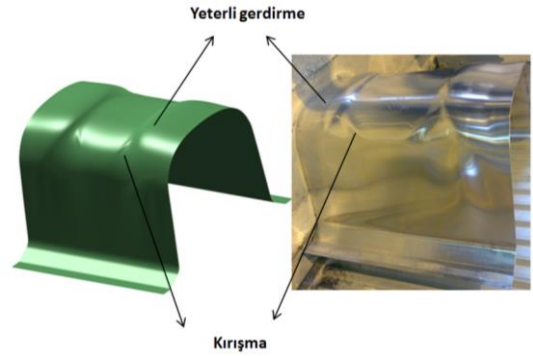
Şekil 21. GŞ operasyonunun çeyrek-simetrik SE modeli

GŞ operasyonunda SE analizinin hassasiyeti optik deformasyon ölçümleri ile doğrulanmıştır. Analizde kırışma eğilimi gösteren bölgenin deneysel üretimde de kırıştığı gözlemlenmiştir (Şekil 23).

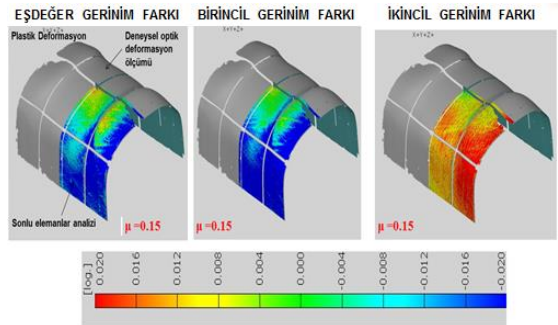
Diğer taraftan, deneysel ve sayısal modelleme çalışmalarından elde edilen deformasyon sonuçları da karşılaştırılmıştır (Şekil 25). Gerçek eşdeğer gerilim ve birincil-ikincil gerilim değerleri GOM-ARGUS sistemi ile tespit edilmiştir.



Şekil 22. SE analizinin ŞS diyagramı ile gösterimi (Yeterli gerdirmeye durumunda kırışıklık gözlemlenmiştir)



Şekil 23. Aynı proses parametreleri ile SE analiz sonucu ve deneysel çalışmanın karşılaştırılması



Şekil 24. Analiz ve deneysel çalışma sonucundan elde edilen gerilim değerlerinin sayısal karşılaştırılması

Bu değerler farklı sürtünme katsayıları (0.05, 0.15 ve 0.25) ile yürütülen analizler ile karşılaştırılmıştır. Doğru sürtünme katsayısı olan 0,15 Coulomb katsayısı değeri ile yürütülen analiz ile deney sonuçları karşılaştırıldığında 0,004 gerilim değerlerinde fark olduğu ortaya çıkmıştır. Bu değer ihmal edilebilecek kadar küçük bir değer olup bu sayede hem SE analizinin doğruluğu hem de daha önce deneysel olarak tespit edilen Coulomb katsayısının da doğruluğunu ortaya koymaktadır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada, GŞ işlemi deneysel ve sayısal olarak incelenerek elde edilen deformasyon dağılımları karşılaştırılmıştır. Prosesin hassas ve güvenilir SE modelinin oluşturulmasına yönelik standart çekme ve HŞ testleri yapılmıştır. Bunun yanı sıra, analiz sonuçlarını yorumlayabilmek ve proses limitlerine karar verebilmek adına ŞSD testleri yürütülmüştür.

Sürtünme katsayılarının tespit edilmesine yönelik uygulanan metot ile farklı yağlayıcı koşulları için sayısal olarak Coulomb sürtünme katsayıları elde edilmiştir.

Optik deformasyon ölçüm sonuçlarından alınan veriler ile SE analizinden alınan veriler gerinim değerleri göz önünde bulundurularak karşılaştırılmış ve sonuçların birbiri ile iyi uyum gösterdiği tespit edilmiştir. Gerçek uçak parçası üzerinde yapılan deneyde doğru sürtünme katsayısı ile yürütülen SE analizi ve optik deformasyon ölçümleri karşılaştırılmış ve analiz sonuçları doğrulanmıştır.

NUMERICAL MODELING OF SHEET METAL STRETCH FORMING PROCESS AND VERIFICATION OF ANALYSIS RESULT

Stretch forming process is commonly used in aircraft industry for the manufacturing of large sheet panels such as shells that has complex geometry. Process parameters such as die-jaw trajectories and lubrication conditions are generally determined with trial-error procedure.

In this study, process parameters are obtained by using FEM and compared with the strain distributions taken from optical deformation measurement system. Mechanical characterization tests including standard tensile, hydraulic bulge and forming limit diagram tests are performed. Addition to this, new setup is designed to identify Coulomb friction coefficient for different lubrication conditions in stretch forming process. Findings of this study is used on modeling of a real airplane part and simulation results are compared with optical strain measurement.

Keywords: Stretch Forming Process, Forming Limit Diagrams, Hydraulic Bulge Test, Optical Deformation Measurement, Finite Element Method.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma 3100568 numaralı TEYDEB Projesi kapsamında TÜBİTAK ve TUSAŞ tarafından desteklenmiştir. Bunun yanı sıra, malzeme, optik deformasyon ve sürtünme testleri Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'nde tamamlanmıştır. Yazar belirtilen üç ayrı kuruma da teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. Wick C., Benedict J., Veilleux R., "Tool and Manufacturing Engineers Handbook-Forming", SME, Forth Edition.
2. Lange K., "Handbook of Metal Forming, Society of Manufacturing Engineers (SME)", First Edition, U.S.A., 1975.
3. Araghi B., Manco G., Bambach M. Hirt G., "Investigation into a New Hybrid Forming Process: Incremental Sheet Forming Combined with Stretch Forming", CIRP Annals Manufacturing Technology 58, 225-228, 2009.
4. Cai Z-Y., Wang S-H., Xu X-D., Li M-Z., "Numerical Simulation for the Multi-Point Stretch Forming Process of Sheet Metal", Journal of Material Processing Technology 209, 396-407, 2009.
5. Kurukuri S., Miroux A., Wisselink H., Boogaard T. "Simulation of Stretch Forming with Intermediate Heat Treatments of Aircraft Skins. Int J Mater Form 4:129-140, 2011.
6. ISO 6892: "Tensile Testing Metallic At Room Temperature".
7. Güner A., Brosius A., Tekkaya E., "Analysis of the HBT with FEA Concerning the Accuracy of the Determined Flow Curves", Key Engineering Materials Vols. 410-411 (2009) pp 439-447.
8. Alkaş C. O., "Experimental and Numerical Study on Stretch Forming Process", Master Thesis, Atılım University, Turkey, 2013.
9. ISO 12004-2: "Determination of Forming Limit Curves in the Laboratory", First edition, 2008-10-15.
10. Karadoğan C., Alkaş C. O., Hatipoğlu H., "Numerical Investigation of a New Test Setup for Measurement of Friction Coefficients in Sheet Metal Forming Applications. JESTECH, 15(1), 27-32, 2012.
11. Karadoğan C., Alkaş C. O., Hatipoğlu H., "Determination of friction coefficients for various lubrication conditions in stretch forming process", International Deep Drawing Research Conference (IDDRG), 2013.
12. Hatipoğlu H., Alkaş C. O., Karadoğan C., "Determination of Tool Motions in Stretch Forming Process for Aerospace Applications by Using Finite Element Method", Key Engineering Materials Vols. 554-557 (2013) pp 1451-1458.
13. Alkaş C. O., Hatipoğlu H., Karadoğan C., "Experimental and Numerical Investigation of Stretch Forming Process for Aerospace Applications", 7th International Conference on Design and Production of Machines and Dies/Molds (Diemolds), 19-25, 2013.

CNC Tel Elektro Erozyon Tezgâhında Tel Elektrot Özelliklerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin Taguchi Yöntemiyle Modellenmesi

Hüseyin Gürbüz

huseyin.gurbuz@batman.edu.tr

Batman Üniversitesi,
Makine Mühendisliği Bölümü, Batman

Şehmus Baday

Batman Üniversitesi,
Makine ve İmalat Mühendisliği Bölümü,
Batman

İbrahim Hamarat

Şazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Ankara

*Bu çalışmada, geleneksel olmayan imalat yöntemlerinden CNC tel elektro erozyon tezgâhında tel elektrot özelliklerinin yüzey pürüzlülüğüne etkisi Taguchi deneysel tasarım yöntemi ile modellenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü deneyleri tel elektrot çapı, tel malzemesi ve kaplama türü, soğutma yöntemi ve iki farklı tip iş parçası malzemesi göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri bağımlı değişken olarak seçilirken bağımsız değişken olarak tel elektrot kaplama türü, tel elektrot çapı, soğutma yöntemi ve iş parçası malzemesi olarak seçilmiştir. Bağımsız değişkenler her biri için iki seviye ve dört faktör belirlenerek L16 (2**4) ortogonal deney tasarım yöntemi seçilmiştir. Belirlenen ortogonal Taguchi tasarım yöntemi ile yüzey pürüzlülüğü üzerinde kontrol faktörlerini etkisi Sinyal/Gürültü (S/N) oranlarına göre tespit edilmiştir. Ayrıca kontrol faktörlerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisi ANOVA testi yapılarak ortaya konulmuştur. En yüksek yüzey pürüzlülük değerleri kaplamasız tel elektrotlarla en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise Zn (çinko) kaplı tel elektrotlarla ortaya çıkmıştır. İş parçası türüne bağlı olarak, AISI D2 çeliğinin işlenmiş yüzeyinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri daha düşük olduğu tespit edilmiştir.*

Anahtar Kelimeler: CNC tel elektro erozyon, tel elektrot çapı, tel malzemesi, soğutma yöntemi, Taguchi deney tasarımı, ANOVA testi

1. GİRİŞ

Geleneksel ve geleneksel olmayan imalat operasyonlarında yüzey kalitesi ve ölçü tamlığı şartlarını yerine getirmek için doğru işleme parametrelerini ayarlamak oldukça önemlidir. Tel Elektro-Erozyon tezgâhları “Wire Electro Discharge Machining (WEDM)”, iletken malzemelerde ihtiyaç duyulan karmaşık şekilleri istenilen yüzey kalitesinde ve yüksek ölçü tamlığında üretmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Tel Elektro-Erozyon ile işlemede kullanılan tel elektrotun boyutları, malzemesi ve performansı farklılık gösterebilir. WEDM’de işleme parametrelerinden biri de tel elektrotun kendisidir ve karalı bir işleme süreci sağlamak için doğru tel elektrot seçimi çok önemlidir. Genellikle, tel elektrot çapları tel elektro-erozyon uygulamalarında 0.25-0.33 mm tercih edilirken [2-5], kaplama türü olarak çinko kaplı, tel elektrot malzemesi olarak ise pirinç tel elektrotlar [1-10] yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Saha ve Mondal, yüzey pürüzlülüğü üzerinde kaplamalı ve kaplamasız tel elektrotların etkisini belirlemek için

bir çalışma yürütmüşlerdir. Daha iyi soğutma özelliğine sahip çinko kaplamalı pirinç tel elektrotların kaplamasız tel elektrotlara göre daha iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde etmişlerdir [9]. Khan ve ark., tel elektrot çaplarının yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkisini araştırmışlardır. Yüzey pürüzlülüğünün tel elektrot çapı artışına bağlı olarak kötüleştiğini tespit etmişlerdir [5]. Newton ve ark. Inconel 718 malzemesini çinko (Zn) kaplamalı bakır tel elektrot ile işlemiş ve işlenmiş yüzeyinin karakteristiğini incelemişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde en etkili parametrelerden birinin de tel elektrot çapının olduğunu tespit etmişlerdir [8]. Kuriakose ve Shunmugam, İşlenmesi zor olan Ti6Al4V malzemesinin yüzey pürüzlülüğü üzerinde kaplamalı tel elektrotların etkisini incelemek için bir çalışma yürütmüşlerdir. Yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde kaplamanın önemli bir etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır [7]. Manjaiah ve ark., yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde farklı tip tel elektrotların etkilerini değerlendirmişlerdir. Çinko kaplı tel elektrotlarla elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin Pirinç tel elektrotlarla elde ettikleri

yüzeý pürüzlüklük değerlerinin daha düşük çıktığını bulmuşlardır [10]. Sharma ve ark., tel elektro erozyon ile Inconel 706 iř parçası malzemesinin işlenmesinde yüzeý pürüzlüklükü üzerinde tel elektrot çapının etkisini tespit etmişlerdir. tel elektrot çapının artışına bağlı olarak yüzeý pürüzlüklük değerlerinin arttığını tel elektrot çapını azalmasına bağlı olarak ise azaldığını bulmuşlardır [6]. Ayrıca literatürde WEDM ile işlemede yüzeý pürüzlüklükü etkileyen birçok parametrenin olduğu gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalarda yüzeý pürüzlüklükü üzerine vuruş süresi (t_{on}), vuruş ara süresi (t_{off}), değarj akımı (I), tel gerginliği (Wt), ilerleme oranı v.b. parametrelerin etkileri incelenmiştir [11-17].

Birçok araştırmacı tarafından araştırılan veya hedeflenen sonuçları ve bu sonuçlar neticesinde meydana gelen sapmaları doğru bir şekilde analiz etmek için kullanılan deney grubunu en etkili bir şekilde planlamak için deney tasarımı kullanılmaktadır. Tel elektro erozyon tezgahlarında kullanılan işleme parametrelerinin yüzeý pürüzlüklükü üzerindeki etkisini ortaya koymak için birçok araştırmacı tarafından Taguchi deney tasarım metodunu kullanmış ve bu çalışmalarla ilgili bilgiler aşağıda verilmiştir. Pramanick ve ark., WEDM tezgahında, yüzeý pürüzlüklükü ve kesme hızı üzerinde işleme parametrelerinin optimizasyonu araştırmışlardır. Yapmış oldukları çalışmada giriş parametrelerine bağlı olarak kesme hızı ve yüzeý pürüzlüklük değerlerini tahmin etmek için deney tasarım yöntemi olan L32 ortogonal dizilimi kullanmışlardır. Deney tasarım yöntemi ile giriş parametrelerinin bağımlı değişken üzerindeki etkisini Sinyal/Gürültü oranı göre değerlendirmişlerdir. Makine parametreleri ve çıkış parametreleri arasındaki etkiyi görmek için regresyon analizi yapmışlardır [18]. Kumar ve ark., Taguchi yöntemiyle tel elektrotun aşınmasını optimize etmişlerdir. Giriř parametresi olarak akım, vuruş süresi ve vuruş ara süresi seçilerek tel elektrot aşınması tahmin etmişlerdir. Taguchi modelinde L9 ortogonal sıralama kullanarak sonuçları elde etmişlerdir. Giriř parametrelerinin tel elektrot aşınmasına etkisini Sinyal/Gürültü oranı göre belirlemişlerdir [19]. Selvakumar ve ark., WEDM tezgahında işleme parametrelerinin kesme hızı ve yüzeý pürüzlüklük üzerindeki etkisini optimize etmek için Taguchi metodunu kullanmışlardır. Giriř parametrelerine bağlı olarak L9 ortogonal dizim seçilerek Sinyal/Gürültü oranları elde edilmişlerdir. Elde etmiş oldukları Sinyal/Gürültü oranlarına göre giriş parametrelerinin kesme hızı ve yüzeý pürüzlüklükü üzerinde etki sıralamasını ortaya koymuşlardır [20]. Sudhskara ve ark., çalışmalarında takım çeliğinin WEDM tezgahında işlenmesi sonucu iř parçalarının yüzeýlerinde oluşan yüzeý pürüzlüklük değerlerini Taguchi yöntemine uygulamışlardır.

Yüzeý pürüzlüklükü üzerine giriş faktörleri olarak vuruş süresi ve vuruş ara süresi, servo voltaj, maksimum akım, tel gerginliği ve su basıncı ve her bir faktör için üç seviye belirleyerek Sinyal/Gürültü oranı göre faktörlerin etkinliğini belirlemişlerdir. Ayrıca faktörlerin birbirleri ile olan ilişkilerini ve ANOVA testi yaparak da ortaya koymuşlardır [21]. Razak ve ark., çalışmalarında işleme parametrelerinin maksimum akım, voltaj vuruş süresi ve vuruş ara süresi yüzeý pürüzlüklükü üzerine etkisini Taguchi yöntemi ile belirlemişlerdir. Seçilen parametreler için üç seviye belirleyerek L9 ortogonal dizim ile Sinyal/Gürültü oranlarını belirlemişlerdir. Sinyal/Gürültü oranlarına göre yüzeý pürüzlüklükü üzerinde vuruş süresi en büyük etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca Kahan ve ark., tarafından yapılan benzer bir çalışmada faktörlerin yüzeý pürüzlüklükü üzerinde en büyük etkiye vuruş süresi olduğunu tespit etmişlerdir [22]. Ugrasen ve ark., WEDM tezgahında işleme parametrelerinin yüzeý pürüzlüklük üzerindeki etkilerini Taguchi L27 (3^{*4}) ortogonal deney tasarım yöntemi ile belirlemişlerdir. Sinyal/Gürültü oranına göre parametrelerin yüzeý pürüzlüklük üzerinde etkisini belirlemişlerdir. Sonuç olarak yüzeý pürüzlüklükü üzerinde vuruş süresi en etkili parametre olduğunu bulmuşlardır [23]. Chandramouli ve ark., yapmış oldukları çalışmada WEDM tezgahında, işleme parametrelerinin yüzeý pürüzlüklükü üzerindeki etkisini belirlemek için Taguchi metodu kullanmışlardır. Dört faktörlü ve üç seviyeli L27 (3^{*4}) ortogonal deney tasarım yöntemini seçerek faktörlerin yüzeý pürüzlüklüküne etkisini ortaya koymuşlardır. Sinyal/Gürültü oranına göre vuruş süresi yüzeý pürüzlüklükü üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu bulmuşlardır [24]. Kumar ve ark., çalışmalarında yüzeý pürüzlüklükü üzerinde işleme parametrelerinin etkisini görmek için Taguchi L27 (3^{*4}) ortogonal deney tasarım yöntemini kullanmışlardır. Sinyal/Gürültü oranına göre yüzeý pürüzlüklükü üzerinde boşalış akımı olduğunu bulmuşlardır [25]. Tonday ve ark. yüzeý pürüzlüklükü üzerinde faktörlerin etkisini belirlemek için Taguchi deney tasarımını kullanmışlardır. Sinyal/Gürültü oranına göre kıvılcım voltajı yüzeý pürüzlüklükü üzerinde en etkili parametre olduğunu tespit etmişlerdir [26]. Kollı ve ark., yüzeý pürüzlüklük değerleri tahmin etmek için Taguchi L9 ortogonal deney tasarım yöntemini kullanmışlardır. Gerçekleřtiren tasarım yöntemiyle Sinyal/Gürültü oranları belirlenmiş ve yüzeý pürüzlüklük üzerinde en etkili olan faktörü belirlemişlerdir. Sonuç olarak en etkili parametrenin boşalış akımı olduğu bulmuşlardır [27]. Chakraborty ve ark., çalışmalarında, L16 ortogonal dizilimi seçerek yüzeý pürüzlüklük değerlerine etki eden parametreleri tespit etmek için Taguchi deney tasarım metodunu seçmişlerdir. Sinyal/Gürültü oranına göre yüzeý

pürüzlülüğü üzerinde vuruş süresinin diğere parametrelere kıyasla daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir [28]. Tosun ve arkadaşları WEDM tezgâhında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkisini ANOVA' testi yaparak araştırmışlardır. ANOVA ve F-test analizlerine göre yüzey pürüzlülüğü üzerinde etkili parametrelerin açık devre gerilimi ve vuruş süresinin olduğunu bulmuşlardır [29].

Literatürdeki çalışmalardan farklı olarak bu yürütülen deneysel çalışmada, AISI D2 ve AISI 304 iş parçası malzemelerinin tel elektro erozyon tezgâhında hem daldırmalı hem de püskürtmeli soğutma yöntemiyle işlenmesinde tel elektrot çapına, kaplamalı ve kaplamasız durumlarına bağılı olarak yüzey pürüzlülük sonuçları değerlendirilmiştir. Ayrıca taguchi metodu ve varyans analizi yöntemi kullanılarak tel elektrot kaplama türü, tel elektrot çapı, soğutma yönteminin etkilerini araştırmak ve optimum koşulları tespit edip buna bağılı olarak yüzey pürüzlülük değerlerini minimize etmektir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Tel Elektrotlar

Deneylerde yüzey pürüzlülük değerleri üzerine tel elektrot çap farkının, kaplamalı ve kaplamasız tel elektrotların etkisini görmek için dört farklı tel elektrot kullanılmıştır. Tüm kesme deney şartlarında kullanılan tel elektrotlara ait çaplar ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

2.2. İş Parçası Malzemesi

Havacılık, ekstrüzyon kalıplar, medikal ve gıda gibi sektörlerde yaygın olarak kullanılan AISI 304

paslanmaz çeliği ve sac-metal kalıplarında tercih edilen AISI D2 soğuk iş takım çelikleri deneylerde iş parçası malzemesi olarak kullanılmıştır. Her iki iş parçası için prizmatik 10x10x25 mm ölçümündeki kare parçalar 300x80x25 mm ebadındaki iş parçası malzemelerinden çıkarılmıştır. Yüzey pürüzlülük deneylerinde kullanılan malzemelere ait kimyasal bileşimleri ve elektrik özdirençleri Tablo 2-3'te verilmiştir.

2.3. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Perthometer M1 model masa tipi yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı yüzey pürüzlülük değerlerini ölçmek için kullanılmıştır. Tel elektrotlarla işlenen iş parçası malzemeleri üzerinden ölçülen yüzey pürüzlülük değerleri her bir işlenmiş numunenin üç yüzeyinden üç ölçüm alınarak aritmetik ortalamaları hesaplanmış ve bu hesaplanan değerler ortalama yüzey pürüzlülüğü değeri Ra (μm) olarak alınmıştır.

2.4. WEDM Tezgâhı Parametreleri ve Soğutma Yöntemi

Makino U32 tip Tel elektro Erozyon tezgâhında tel elektrot özelliklerine ve iş parçası malzemesine bağılı olarak kesme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deneylerde Püskürtmeli ve Daldırmalı (Sub Merged) olmak üzere iki farklı tip soğutma yöntemi kullanılmıştır. Kesme işlemlerinde kullanılan tezgâh parametreleri tezgâh üreticisinin önerdiği parametreler dikkate alınarak Tablo 4'te verilmiştir. WEDM parametreleri tüm deney şartlarında sabit tutulmuştur.

Tablo 1. Tel elektrotların fiziksel özellikleri

Tel Elektrotlar	Çekme Dayanımı, MPa	Kopma Yüğü, N	İletkenlik %
0,25 mm çaplı Pirinç	980	48.2 N	22
Zn Kaplı 0,25 mm çaplı Pirinç	883	43.3 N	20
0,30 mm çaplı Pirinç	980	69.3 N	22
Zn Kaplı 0,30 mm çaplı Pirinç	883	62.4 N	20

Tablo 2. AISI D2 çeliğın bileşenleri ve elektrik özdirenç

C%	Si%	Mn%	Cr%	Mo%	V%	Elektrik özdirenç (ρ) $\Omega \cdot \text{m} \cdot 10^{-9}$
1,55	0,3	0,4	11,8	0,8	0,8	650

Tablo 3. AISI 304 çeliğın bileşenleri ve elektrik özdirenç

C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	N%	Ni%	Elektrik özdirenç (ρ) $\Omega \cdot \text{m} \cdot 10^{-9}$
0,07	1,00	2,00	0,045	0,030	17,5-19,5	0,11	8,0-10,5	710

3. TAGUCHI DENEY TASARIMI YÖNTEMİ

Tel elektrot kaplama tipi, soğutma tipi, malzeme tipi ve tel elektrot çapı faktörleri ve herbir faktör için belirlenen iki seviye için elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri Taguchi deney tasarımı yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Oluşturulan deney tasarımı ve analiz için Minitab paket programı kullanılmıştır. Geleneksel olmayan tel elektrot ile işlemede kontrol faktörleri olarak kaplama tipi, soğutma tipi, malzeme tipi ve tel elektrot çapı faktörleri seçilmiş ve her bir faktör için iki seviye belirlenmiştir. Oluşturulan bu deney tasarımındaki kontrol faktörleri ve seviyeler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5'te verilen dört faktör ve her bir faktörün için iki seviye göz önünde bulundurulduğunda 2x4 toplam 16 adet deneyin yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Faktörleri sembolize eden seviyeler ve yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 6'da verilmiştir. Geleneksel ve geleneksel olmayan imalatlarda iş parçalarından istenilen ilk gereksinim iş parçalarının istenilen tamlık ve toleranslarda elde edilmesi ve iş parçası yüzey kalitesinin en uygun değerlerde olması istenir.

Yüzey pürüzlülük değerinin düşük olması yüzey kalitesinin iyi olduğunun ifadesi olmuştur. Bundan dolayı elde edilen yüzey pürüzlülük sonuçlarının değerlendirilmesi açısından yüzey

pürüzlülük değerlerinin en düşük seviyede kalması istenilmektedir. Bu istenen gereksinim için Sinyal/Gürültü (S/N) oranının hesaplanmasında "en küçük en iyidir" formülü kullanılmıştır. Sinyal gürültü formül aşağıda bulunan Eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$S/N = -10 \times \log\left(\frac{\sum y^2}{n}\right) \quad (1)$$

Burada; : Performans karakteristik değeri (yüzey pürüzlülüğü), : değerlerinin sayısıdır.

Yüzey pürüzlülük değerlerine etki eden kaplama tipi, tel çapı, soğutma tipi ve malzeme cinsi olmak üzere dört faktör ve her bir faktör için iki seviye belirlenmiştir. Her bir seviye ve faktör için Sinyal/Gürültü oranlarını gösteren değerler Tablo 7'de verilmiştir. Tablo 7'deki değerler incelendiğinde, yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktörlerin etkisi Delta değerinin büyüklüğü ile doğrudan ilgilidir. Yani Delta değerinin büyük olması Sinyal/Gürültü oranının bağımsız değişken üzerindeki etki sıralamasını göstermektedir. Ayrıca Delta değeri iki faktör arasındaki farkı göstermektedir. Bağımlı değişken olan yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktörlerin etkisi sırasıyla kaplama tipi, malzeme tipi, soğutma tipi ve tel çapı şeklinde sıralandığı Tablo 7'de görülmektedir.

Tablo 4. Makina parametreleri

Deneylerde kullanılan işleme parametreleri	
Vurum süresi (On Time), µs	15
Vurum ara süresi (Off Time), µs	50
Akım (Current), Amp	39
Boşalım akımı (Ignition current) Amp	39
Volt Gerilim (Voltage), V	40
Su basıncı (Water Pressure), MPa	30-40
Tel Hızı (Wire Feed) m/dak	10

Tablo 5. Faktörler ve seviyeler

Faktörler	Seviyeler	
	1	2
Kaplama tipi	Kaplamasız (K1)	Kaplamalı (K2)
Soğutma tipi	Daldırmalı (C1)	Püskürtmeli (C2)
Malzeme tipi	AISI 304 (M1)	AISI D2 (M2)
Tel Çapı	0,25 mm (T1)	0,30 mm (T2)

Tablo 6. Faktörlerin sembolleri ve gerçek değerleri.

Deney No	Faktörler				
	Kaplama Tipi	Tel Çapı	Soğutma Tipi	Malzeme Tipi	Yüzey Pürüzlülüğü (μm)
1	K1	T1	C1	M1	3,93
2	K1	T1	C1	M2	3,69
3	K1	T1	C2	M1	3,85
4	K1	T1	C2	M2	3,76
5	K1	T2	C1	M1	3,88
6	K1	T2	C1	M2	3,79
7	K1	T2	C2	M1	3,92
8	K1	T2	C2	M2	3,71
9	K2	T1	C1	M1	3,44
10	K2	T1	C1	M2	3,13
11	K2	T1	C2	M1	3,57
12	K2	T1	C2	M2	3,49
13	K2	T2	C1	M1	3,54
14	K2	T2	C1	M2	3,22
15	K2	T2	C2	M1	3,53
16	K2	T2	C2	M2	3,49

Tablo 7. Her bir Seviye ve Faktörler için Sinyal/Gürültü oranları (En düşük en iyidir)

Seviye	Faktörler			
	Kaplama Tipi	Tel Çapı	Soğutma Tipi	Malzeme Tipi
1	-11,63	-11,12	-11,04	-11,37
2	-10,69	-11,19	-11,27	-10,95
Delta	0,94	0,07	0,23	0,42
Sıralama	1	4	3	2

Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkinliği gösteren grafikler Şekil 1'de verilmiştir. Şekil 1'deki grafiğe bakıldığında, yüzey pürüzlülüğü üzerinde en büyük etkiye sahip olan seviyeler arasındaki farkın mutlak değerce büyük olan kaplama tipi faktörünün olduğu görülmektedir. Benzer şekilde bağımlı değişken üzerinde faktörlerin ana etkisini gösteren grafik Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'deki grafik incelendiğinde, bağımsız değişken üzerinde en büyük etkiye kaplama tipi sahipken en düşük etkiye ise tel çapı olduğu görülmektedir.

Şekil 2'deki grafik incelendiğinde en düşük yüzey pürüzlülük değerleri çinko kaplı (K2) tel elektrotlarla elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri ise kaplamasız (K1) tel elektrotla elde edilmiştir. Ortaya çıkan bu sonuç tel elektrotun kaplama özelliğine atfedilmiştir. Çinko kaplı tel elektrotların kaplama özelliğinin sahip

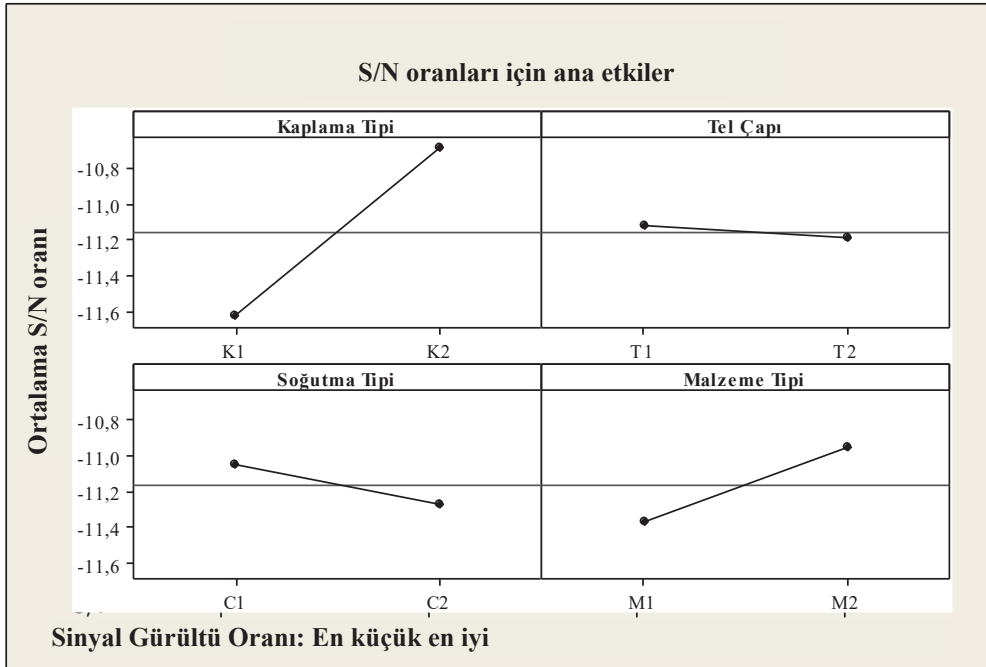
olduğu yüksek sıcaklıklarda mükemmel ısı dayanıklılığına, yüksek çekme gerilmesinden dolayı titreşim ve gerilim altında tel elektrotun daha düzgün bir şekilde sürdürebilirliğini sağlamasıyla daha iyi işlenmiş yüzeyler elde edilmiştir [7, 9]. Aynı zamanda çinko kaplamanın sağlamış olduğu daha iyi soğutma özelliğiyle ve boşalım kabiliyetini homojen bir şekilde sağlamasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesine yardımcı olmaktadır [9,10]. İş parçası türüne bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri Şekil 2'deki grafik incelendiğinde en yüksek yüzey pürüzlülük değerleri AISI 304 (M2) paslanmaz çeliğinin işlenmiş yüzeyinden elde edilirken en düşük yüzey pürüzlülük değerleri ise AISI D2 (M1) çeliği işlenmiş yüzeyinde tespit edilmiştir. Yüzey pürüzlülük değerlerinin bu şekilde elde edilmesi iş parçalarının elektrik iletkenlik öz dirençleri ile ilişkilendirilmiştir. AISI 304 iş parçası malzemesinin elektrik iletkenlik öz direnci

yüksek iken AISI D2 iş parçası malzemesinin elektrik öz direnci daha düşüktür. Elektrik öz direnç değeri bakımından AISI D2 çeliğinin AISI 304 çeliğinden daha düşük olması [Tablo 2-3] iş parçasının daha iyi işlenmesine ve iş parçasından geçen elektriğin daha iyi iletmesine yardımcı olarak yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesine katkı sağlamaktadır. Şekil 2'deki grafik soğutma yöntemlerine bağlı olarak incelendiğinde daldırmalı soğutma (C1) yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin püskürtmeli soğutma (C2) yöntemiyle elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmektedir. Ortaya çıkan bu eğilim daldırmalı soğutmanın püskürtmeli soğutmaya göre daha iyi soğutma etkisine bağlı olarak açıklanabilir. Daldırmalı soğutma yöntemiyle işleme sırasında iş parçası malzemesi ve tel elektrot tamamen suyun içinde olduğu için kesme bölgesinde daha iyi bir soğutmanın sağlanmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin düşmesine katkı sağlayacaktır. Tel elektrot çaplarına göre Şekil 2'deki grafik incelendiğinde tel elektrot çapı 0.25 mm'den (T1) 0.30 mm'ye (T2) arttığında yüzey pürüzlülük değerlerinin arttığı görülmüştür.

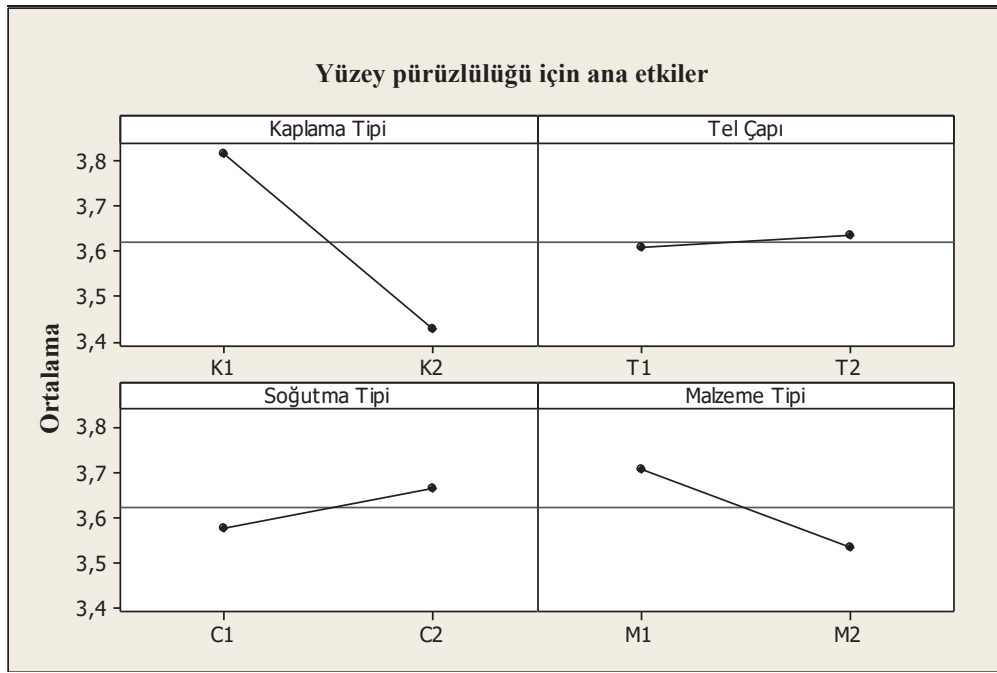
Literatürde, tel elektrot çapının artmasıyla yüzey pürüzlülük değerlerinin artması beklenen bir durum olduğu ifade edilmiştir [6, 8, 30]. Büyük tel elektrot çapının düşük çapta ki tel elektrota oranla iletim hızı (transport speed) daha düşüktür. Buda kısmen tel elektrotun ilerlemesini ve işleme

bölgesinden sıçrayan erimiş metal miktarı önemli ölçüde azaltmasına yardımcı olacaktır. Bundan dolayı işlenmiş yüzeyde mikro deliklerin ve mikro küreciklerin oluşumuna yol açarak biraz daha yüksek yüzey pürüzlülük değerlerini çıkmasına sebep olacaktır [6, 8]. Ayrıca, büyük bir tel elektrot çapı küçük çaplı bir tel elektrota göre her bir kıvılcımın sebep olduğu ısıdan etkilenmiş bölgenin artmasına daha fazla katkı sağlayacağından yüzey pürüzlülük değerlerinde artacaktır [5]. Yüzey pürüzlülüğü üzerinde faktörlerin etkisi gösteren bir diğer analiz ise Varyans analizidir (ANOVA: Analysis of Variance). Gerçekleştirilen Varyans analizinde güven aralığı %95 olarak belirlenmiştir. Yüzey pürüzlülüğü değerleri için yapılan Varyans analizi sonuçlarını gösteren değerler Tablo 8'de verilmiştir.

Bağımsız değişkenlerin anlamlılık değerleri $P < 0,05$ aralığında olmalıdır. Tablo 8'de gösterilen soğutma tipi ve tel çapının "P" değerlerinden de anlaşılacağı gibi yüzey pürüzlülüğü üzerinde istatistiksel olarak anlamlı olmadıkları görülmektedir. Bunun ile birlikte toplam hataların karesi R^2 değeri %89,39 olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonucunda elde edilen artık değerlerin grafiksel olarak gösterimi Şekil 3'de verilmiştir. Artık değerlerin lineer çizgi etrafında dağılımı oluşturması bu modelin tutarlılığını gösteren bir diğer grafiksel gösterimdir.



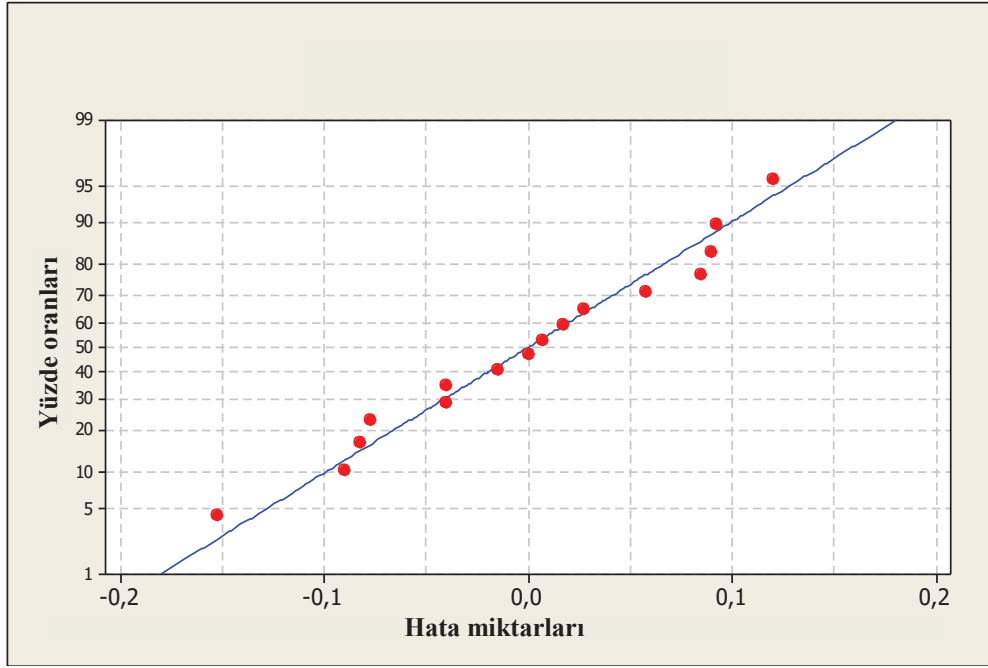
Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğü için ortalama Sinyal/Gürültü oranı grafikleri



Şekil 2. Faktörlerin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki ana etkisi

Tablo. 8 Varyans analizi

Kontrol Faktörleri	Serbestlik Derecesi (DF)	Kareler Toplamı (SS)	Düzeltilmiş Kareler Toplamı (Adj SS)	Düzeltilmiş Kareler Ortalaması (Adj MS)	F	P
Kaplama Tipi	1	0,608400	0,608400	0,608400	74,1130	0,000003
Tel Çapı	1	0,003025	0,003025	0,003025	0,3685	0,556149
Soğutma Tipi	1	0,030625	0,030625	0,030625	3,7306	0,079586
Malzeme Tipi	1	0,119025	0,119025	0,119025	14,4992	0,002904
Regresyon	4	0,761075	0,761075	0,190269	23,1778	0,000026
Hata	11	0,090300	0,090300	0,008209		
Toplam	15	0,851375				



Şekil 3. Varyans analizi sonucunda elde edilen artık değerler

4. SONUÇLAR

Tel elektro erozyon ile işlemede yüzey pürüzlülük değerleri üzerinde tel elektrot kaplama türü, tel elektrot çapı, soğutma yönteminin etkilerini araştırmak ve optimum koşulları tespit edip buna bağlı olarak yüzey pürüzlülük değerleri minimize etmek için Taguchi metodu ve Varyans analizi yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Genel olarak tel elektrot çapı arttığında yüzey pürüzlülük değerlerinde artış görülmüştür.
- En düşük yüzey pürüzlülük değeri (3,13 μm) Zn (çinko) kaplı tel elektrotla elde edilirken en yüksek yüzey pürüzlülük değeri (3,93 μm) ise kaplamasız tel elektrotla elde edilmiştir.
- AISI D2 çeliğinin işlenmiş yüzeyinde elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri, AISI 304 paslanmaz çeliğinin işlenmiş yüzeyinden elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinden daha düşük çıkmıştır.
- ANOVA analizine göre yüzey pürüzlülük üzerinde tel elektrot malzemesi ve iş parçası malzemesi anlamlı iken tel elektrot çapı ve soğutma yöntemi anlamsız çıkmıştır.
- Yüzey pürüzlülüğü değerlerini tahmin etmek için bulunan toplam hataların karesi, R^2 %89,39 olarak bulunmuştur.
- Sinyal/Gürültü oranlarına göre yüzey pürüzlülük üzerinde en etkili parametrenin tel elektrot kaplama tipi olduğu ortaya çıkmıştır.

MODELING THE EFFECT OF WIRE ELECTRODE PROPERTIES ON SURFACE ROUGHNESS IN CNC WIRE ELECTRO DISCHARGE MACHINING BY TAGUCHI METHOD

In this study, the effect of wire electrode properties on the surface roughness in CNC wire electro discharge machining which is one of non-traditional manufacturing methods was modeled by Taguchi experimental design method. Surface roughness tests were performed considering wire electrode diameter, wire material and coating type, cooling method and two different types of workpiece material. The surface roughness values obtained as a result of the experiments were selected as dependent variables, while the wire electrode coating type, wire electrode diameter, cooling method and workpiece material were selected as independent variables. The L16 (2^{4}) orthogonal test design method was chosen by determining two levels and four factors for each of the independent variables. With the determined orthogonal Taguchi design method, the effect of the control factors on the surface roughness was determined according to the Signal to Noise (S/N) ratios. In addition, the effect of control factors on the surface roughness was determined by performing ANOVA test. The highest surface roughness values emerged with uncoated wire electrodes while the lowest surface roughness values emerged with Zn (zinc) coated wire electrodes. Depending on the workpiece type, the surface roughness values obtained on the machining surface of the AISI D2 steel were found to be lower.

Anahtar Kelimeler: CNC wire electro discharge machining, Wire electrode diameter, Wire electrode material, Cooling method, Taguchi design method, ANOVA test.

5. KAYNAKÇA

1. Dabade, U.A., Karidkar, S.S., Analysis of response variables in WEDM of Inconel 718 using Taguchi technique, *Procedia CIRP*, 41 (2016), 886-891.
2. Klocke, F., Lung, D., Thomaidis, D., Antonoglou, G., Using ultra thin electrodes to produce micro-parts with wire-EDM, *Journal of Materials Processing Technology*, 149 (2004), 579-584.
3. Prasad, N.B.V., ParameswaraRao, Ch.V.S., Sivanaga MalleswaraRao, S., Studies on Wire Selection for Machining with WEDM, *International Journal of Computer Science Trends and Technology*, 3 (2015) 3, 300-303.
4. Straka L., Corny I., Pitel, J., Properties Evaluation of Thin Microhardened Surface Layer of Tool Steel after Wire EDM, *Metals*, 6 (2016), 95, 1-16.
5. Khan, A.A., Ali, M.Bt.M., Shaffiar, N.Bt.M., Relationship of Surface Roughness with Current and Voltage During Wire EDM, *Journal of applied sciences*, 6 (2006) 10, 2317-2320.
6. Sharma, P., Chakradhar, D., Narendranath, S., Effect of wire diameter on surface integrity of wire electrical discharge machined Inconel 706 for gas turbine application, *Journal of Manufacturing Processes*, 24 (2016), 170-178.
7. Kuriakose, S., Shunmugam, M.S., Characteristics of wire-electro discharge machined Ti6Al4V surface, *Materials Letters*, 58 (2004), 2231-2237.
8. Newton, T.R., Melkote, S.N., Watkins, T.R., Trejo, R.M., Reister, L., Investigation of the effect of process parameters on the formation and characteristics of recast layer in wire-EDM of Inconel 718, *Materials Science and Engineering A*, 513–514 (2009), 208–215.
9. Saha, A., Mondal S.C., Multi-objective optimization in WEDM process of nanostructured hardfacing materials through hybrid techniques, *Measurement*, 94 (2016), 46-59.
10. Manjaiah, M., Narendranath, S., Basavarajappa, S., Gaitonde, V.N., Effect of electrode material in wire electro discharge machining characteristics of $Ti_{50}Ni_{50-x}Cu_x$ shape memory alloy, *Precision Engineering*, 41(2015), 68-77.
11. Fard, K.R., Afza R.A., Teimouri, R., Experimental investigation, intelligent modeling and multi-characteristics optimization of dry WEDM process of Al–SiC metal matrix composite, *Journal of Manufacturing Processes*, 15 (2013), 483-494.
12. Sharma, P., Chakradhar, D., Narendranath, S., Evaluation of WEDM performance characteristics of Inconel 706 for turbine disk application, *Materials and Design*, 88 (2015), 558–566.
13. Soundararajan, R., Ramesh, A., Mohanraj, N., Parthasarathi N., An investigation of material removal rate and surface roughness of squeeze casted A413 alloy on WEDM by multi response optimization using RSM, *Journal of Alloys and Compounds*, 685 (2016), 533-545.
14. Alias, A., Abdulla. B., Abbasa, N.M., WEDM: Influence of Machine Feed Rate in Machining Titanium Ti-6Al-4V Using Brass Wire and Constant Current (4a), *Procedia Engineering*, 41 (2012), 1812-1817.
15. Liao, Y. S., Huang, J.T., Su, H.C. (1997), “A study on the machining-parameters optimization of wire electrical discharge machining”, *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 71, pp 487-493.
16. Rozenek, M., Kozak, J., Dańbrowski, L., ěubkowski K., Electrical discharge machining characteristics of metal matrix composites, *Journal of Materials Processing Technology*, 109 (2001), 367-370.
17. Zhang, C., Effect of wire electrical discharge machining (WEDM) parameters on surface integrity of nanocomposite ceramics, *Ceramics International*, 40 (2014), 9657-9662.
18. Pramanick, A., Sarkar, S., Dey, P.P., Das, P.K., Optimization of wire electrical discharge machining parameters for cutting electrically conductive boron carbide, *Ceramics International*, 42 (2016), 15671-15678.
19. Kumar, U.A., Laxminarayana, P., Optimization of Electrode Tool Wear in micro holes machining by Die Sinker EDM using Taguchi Approach, *Materials Today:Proceedings*, 5 (2018), 1824-1831.
20. Selvakumar, G., Sornalatha, G. Sarkar, S. Mitra, S., Experimental investigation and multi-objective optimization of wire electrical discharge machining (WEDM) of 5083 aluminum alloy, *Trans. Nonferrous Met. Soc. of China*, 24 (2014), 373-379.
21. Sudhakara, D., Prasanthi, G., Application of Taguchi Method for Determining Optimum Surface Roughness in Wire Electric Discharge Machining of P/M Cold Worked Tool Steel (Vanadis-4E), *Procedia Engineering*, 97 (2014), 565-1576.
22. Razak, M.A., Abdul-Rani, A.M., Rao, T.V.V.L.N., Pedapati, S.R., Kamal, S., Electrical Discharge Machining on Biodegradable AZ31

- Magnesium Alloy using Taguchi method, *Procedia Engineering*, 48 (2016), 916-922.
23. Ugrasen, G., Ravindra, H.V., Prakash, G.V.N., Prasad, Y.N.T., Optimization of process parameters in wire EDM of HCHCr material using Taguchi's technique, *Materials Today: Proceedings*, 2 (2015), 2443-2452.
 24. Chandramouli, S., Eswaraiah, K., Optimization of EDM Process parameters in Machining of 17-4 PH Steel using Taguchi Method, *Materials Today: Proceedings*, 4 (2017), 2040-2047.
 25. Kumar, A., Mishra, H., Vivekananda, K., Maity, K.P., Multi-Objective Optimization of Wire Electrical Discharge Machining Process Parameters on Inconel 718, *Materials Today: Proceedings*, 4 (2017), 2137-2146.
 26. Tonday, H.R., Tigga, A.M., Evaluation of the Influence of Wire Electrical Discharge Machining Parameters on Material Removal Rate and Surface Characteristics in Cutting of Inconel 825, *Materials Today: Proceedings*, 4 (2017), 9865-9869.
 27. Kolli, M., Adepu, K., Effect of dielectric fluid with surfactant and graphite powder on Electrical Discharge Machining of titanium alloy using Taguchi Method, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18 (2015), 524-535.
 28. Chakraborty, S., Kar, S., Ghosh, S.K., Dey, V., Parametric optimization of electric discharge coating on Aluminium-6351 alloy with green compact silicon carbide and copper tool: A Taguchi coupled utility concept approach, *Surfaces and Interfaces*, 7 (2017), 47-57.
 29. Tosun, N., Coğun C., İnan A., The Effect of Cutting Parameters on Workpiece Surface Roughness in Wire EDM, *Machining Science and Technology*, 7/2 (2003), 209-219,
 30. Newton T.R., Investigation of the effect of process parameters on the formation of recast layer in wire-EDM of Inconel 718, (*Master's dissertation*), Georgia Institute of Technology, Atlanta, Georgia, USA, 2008.

Yusuf Tansel İç
Doç.Dr.

Başkent Üniversitesi
Endüstri Mühendisliği Bölümü,
Etimesgut, Ankara

M.Cenk Yalçinkaya
End. Müh.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı,
Mustafa Kemal Mah.,
Çankaya, Ankara

Serkan Dalarslan
End. Müh.

Unilever, Ümit Mah., Ankara

Vana İmalatçısı Firmaların Teknik ve Ticari Yeterliliklerinin Belirlenmesi Amacıyla Bir Tedarikçi Değerlendirme Çalışması

Valfler akışkan taşıma sistemlerinin en temel elemanlarıdır. Günümüzde doğru tedarikçilerle çalışmanın işletmelerin hedeflerine ulaşmasındaki rolü gittikçe önem kazanmaktadır. Geçmişte geleneksel uygulamalarla tedarikçi değerlendiren birçok işletme, bugün yeni uygulamaların arayışı içindedir. Valf tedarikçisi değerlendirme süreci nitel ve nicel özellikleri bir arada bulundurduğundan çok özellikli karar verme (ÇÖKV) problemi olarak nitelendirilir. Bu nedenle çalışmamızda Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminden faydalanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tedarikçi Değerlendirme, Vana, Analitik Hiyerarşi Prosesi, Çok Özellikli Karar Verme (ÇÖKV).

1. GİRİŞ

İşletmelerin başarılı bir şekilde faaliyetlerini sürdürebilmesi için tedarik fonksiyonunu kusursuz bir şekilde hayata geçirmesi azami derecede önemlidir. Bu doğrultuda işletmeler birçok kriteri göz önüne alarak zor bir karar verme sürecinin içerisinde yer alır. İşletmeler tedarikçileri belirledikten sonra, mal ve hizmet kendisine ulaşana kadar geçen süre zarfında doğacak hatalar ve aksamalar nedeniyle de büyük zararlarla karşılaşabilirler. Tedarik sürecinde ortaya çıkan sorunların ana faktörü tedarikçi ile işletmenin arasındaki beklentilerin karşılanmaması olarak ortaya çıkmaktadır. Bu açıdan zaman, teslimat, kalite gibi birçok alanda ortaya çıkan hatalar tedarik yapan firmaların direk olarak üretim planlarına yansımakta ve ek maliyet külfeti getirebilmektedir.

Tedarik sadece üretim yapmak için gereken maddi girdilerin sağlanması değil, bunun yanında personel, hizmet, finansman ihtiyaçlarını da içine alan bir faaliyetler bütünü olarak ifade edilebilmektedir [1]. Maliyetlerin düşürülmesi, taleplere daha hızlı cevap verilmesi ve kalitenin sağlanması için işletmeler bazı malzemeleri veya ara ürünleri üretme veya stokta tutmak yerine dış kaynaklardan temin etme yolunu seçebilmektedir. Bir ürün veya hizmetin temini için organizasyonun girdi sağladığı satıcı, üretici, taşeron ve benzeri kuruluşlar tedarikçi olarak kabul edilir. Yönetim sistemi standartları ve özellikle ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi standardı açısından ise bu konu oldukça kapsamlı bir şekilde tanımlanmıştır [2]. Günümüzde son versiyon olan ISO9001:2015 yönetim sisteminde de tedarikçi performanslarının yönetimi ve

değerlendirilmesi oldukça önemli bir konu başlığı haline almıştır [3].

Tedarikçilerin değerlendirilmesi; tedarik eden ve tedarikçi arasındaki ilişkilerin yönetilmesi, orta-uzun vadede tedarikçilerin geliştirilmesi ve tedarikçi ile başarılı ve stratejik ilişkinin belirlenmesi açısından üst düzeyde önem taşımaktadır [4]. Tedarikçi denetimi ise; çoğunlukla şirket çalışanlarının oluşturmuş olduğu yetkili bir takım ile yapılan hedef tedarikçilerin çalışmaya başlama, performans düzeylerinin kontrolü, uyum ve iş sonlandırma nedenlerini değişik boyutlardan araştıran sorgu ve gözleme dayalı bir kontrol yöntemidir.

Bu çalışmada tedarikçilerle yaşanabilecek aksaklıkları en aza indirgeyebilecek bir yapıda tedarikçi değerlendirmede veya denetlemede kullanılabilecek bir sistemin oluşturulması hedeflenmiştir. Yukarıda belirtilen aksaklıkların en önemlisi hatalı veya tolerans dışı parçanın teslim edilmesidir. Firmanın yüklenimleri gereği projelerini zamanında tamamlayarak teslim etmesi gerekir. Tedarik sürecindeki gecikme ve/veya hatalı ve tolerans dışı ürünlerin teslimatı bu süreci olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Geliştirilmesi hedeflenen sistemde değerlendirmelerde ve/veya denetimlerde genel başlıklar altında birçok alt kriter incelenerek sağlam bir tedarikçi değerlendirme sistemi oluşturulması öngörülmüştür. Bu doğrultuda belirlenen kriterlerin ağırlıklandırılması analitik hiyerarşi prosesi (AHP) ile gerçekleştirilmiş ve MS Excel ve Access programları yardımıyla oluşturulan bir yazılımla değerlendirme sistemi esnek bir yapıda tasarlanmıştır. Böylelikle işletme için tedarikçi değerlendirme ve denetiminde kullanılabilecek bir sistem elde edilebilmiştir.

Literatürde tedarikçi değerlendirme konusunda gerçekleştirilmiş birçok çalışmaya rastlanmaktadır. Örneğin, Ünüvar [5], tedarik zinciri şebeke yönetiminin farklılaştırılmasında işletmenin ihtiyaç ve stratejilerine göre bir araç olarak analitik hiyerarşi prosesi yöntemini kullanmıştır. Arıkan ve Küçükçe [6], bir kamu kurumu için kalite, finansman, teslimat ana başlıklarında en uygun kriterleri belirleyerek bir tedarikçi değerlendirme çalışması yapmıştır. Ayyıldız ve Demirel [7], tedarikçi değerlendirme probleminde bulanık Choquet İntegrali yaklaşımını kullanarak esneklik, geçmiş performans, lojistik gibi ana başlıkların altında bir çok kriteri değerlendirmeye almıştır. Ecer ve Küçük [8], analitik hiyerarşi prosesi yönetimi ile en iyi tedarikçinin bulunmasını amaçlayan bir mağaza zincirine yönelik çalışma gerçekleştirmiştir. Yurdakul ve İç [9] çalışmalarında tedarikçi seçimi için AHP ve Hedef Programları yöntemlerinin bütünleşik olarak kullanıldığı bir yöntem önermiştir. Öztürk, Erdoğan ve Arıkan [10], çalışmalarında geçmiş tedarik performansı, garanti, tecrübe gibi kriterleri kullanan bir tedarikçi değerlendirme çalışması sunmuşlardır. Wooten [11], tedarikçi değerlendirme çalışmasında yönetim-organizasyon, profesyonellik, teslimat başlıkları üzerinde durmuştur. Kannan, Khodaverdi, Olfat ve Diabat [12], tedarikçi seçiminde bulanık yaklaşımla çevresel etki ve tasarım gibi kriterleri de tedarikçi değerlendirme sürecinde kullanan bir çalışma sunmuştur. Amin ve Zhang [13], tedarikçi seçiminde bütünleşik bir model üzerinde çalışmış ve tedarikçi, bölüm ve süreç olarak 3 bölüm altında oluşturduğu alt kriterleri belirleyerek bir puanlama modeli oluşturmuştur. Lin [14], bulanık ÇÖKV yaklaşımıyla bir bütünleşik tedarikçi seçimi üzerinde çalışmış ve kriterleri kalite, teslimat, güvenlik gibi başlıklara ayırmıştır. Dağdeviren, Dönmez ve Kurt [2], tedarikçi değerlendirmede analitik ağ prosesini (ANP) kullanmışlardır. Gencer ve Gürpınar [15], analitik ağ prosesi ile tedarikçi seçimi yapmış ve şirket yapısı, kalite, üretim gibi kriterleri kullanmışlardır. Chen [16], çalışmasında kalite, yönetim organizasyon, teslimat, servis ana kriterlerini tedarikçi seçiminde kullanmıştır. Demirtaş ve Üstün [17] çalışmalarında tedarikçi seçimi için kriterleri kalite, fırsat, risk, maliyet bölümlerine ayırmış ve bu kriterleri alt kriterlere ayırarak bir değerlendirme modeli sunmuştur. Godyspoor ve O'Brien [18] çalışmalarında kalite, maliyet, fiyat ve teslimat güvenilirliği kriterlerini AHP yöntemiyle ağırlıklandırılmış, ardından doğrusal programa yöntemiyle hangi tedarikçiden ne kadar miktarda ürün tedarik edilebileceğini ortaya koyan bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kasapoğlu ve Şimşek [19] pnömatik valf tedarikçisi seçimi için AHP yönteminin kullanıldığı bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmada fiyat, kalite, teslim süresi, satış sonrası hizmet ve firma yeterliliği kriterleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada ise 1959 yılından beri mekanik, elektrik ve enstrümantasyon montajı ve termik santrallerde kullanılan buhar kazanlarının imalat ve montajı ile güç santralleri, petrol, çimento, petrokimya ve gaz tesisleri, fabrikalar, yüksek binalar, su arıtma tesisleri ve iletim hatları, köprü ve çeşitli altyapı taahhütleri gerçekleştiren bir firma için valf imalatçısı tedarikçilerin değerlendirilmesinde kullanılacak bir model geliştirilmiştir. Firma için valf imalatçısı firmaların değerlendirilmesinin gerekçesi ise valflerin taahhütler ve imalatlarda hem kritik bir parça olması, hem de gerek adet, gerekse gider kalemi açısından yüksek bir hacme sahip olmasıdır. Geliştirilen tedarikçi değerlendirme modelinin detaylarına ilerleyen bölümlerde yer verilmiştir.

2. DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Firmanın istekleri dikkate alınarak oluşturulan modelde tedarikçi değerlendirme için ana kriterler; pazar, yönetim ve organizasyon, insan kaynakları, üretim, kalite kontrol, iş güvenliği ve esneklik başlıkları altında tasarlanmıştır. Her bir kriter kendi başlığında aşağıda listelendiği gibi alt başlıklara ayrılmıştır:

2.1. Pazar

İşletmelerin; potansiyelini, gücünü, işletmenin değişim hızı gibi olguları takip edebilmek ve değerlendirmek adına pazar ana kriteri altında aşağıdaki gibi alt kriterler oluşturulmuştur:

- Firmanın pazar payı
- Firmanın faaliyet süresi
- Firmanın müşteri sayısındaki yıllık artış
- Yeni müşteri sayısı / Toplam müşteri sayısı (yıllık bazda)
- Patentli ürün sayısı
- Firma ihracat yapıyor mu? (Evet/Hayır)
- Satışlardan iadeler / Net satışlar
- Müşteri hizmetleri birimi mevcut mu? (Evet/Hayır)

2.2. Yönetim-Organizasyon

Çalışmada tedarikçi firmanın yönetim organizasyon kabiliyetini ölçmek amaçlı kriterler belirlenmiştir. Bu alt kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- Organizasyondaki hiyerarşi sayısı
- Toplam indirekt çalışan sayısı / toplam direk çalışan sayısı
- Toplam yönetici sayısı / Toplam çalışan sayısı oranı
- Siparişten itibaren ortalama teslimat süresi
- Geç teslimat yapılan sipariş / Toplam sipariş
- Firmanın hitap ettiği pazar alanı nedir? (Firmanın yerel, ulusal veya uluslararası pazardaki gücünü belirlemek için oluşturulmuştur.)

2.3. İnsan Kaynakları

İnsan kaynakları yönetimi, işletmelerde rekabet üstünlüğü sağlamak üzere ihtiyaç duyulan insan

kaynağının araştırılması, istihdam edilmesi ve eğitilmesi ile ilgili, planlama, yönetim ve değerlendirme işlemlerini bünyesinde barındıran bir alandır. Bu faaliyetler işletme amaçlarını gerçekleştirirken aynı zamanda personel ihtiyaçlarına da cevap veren nitelikte olmalıdır. Bu hedefle belirlenen alt kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- İşten çıkan sayısı / işe giren sayısı (yıllık)
- Kişi başına düşen eğitim giderleri (kurum içi ve dışı tüm eğitimler için)
- Danışmanlık hizmetlerinden faydalanma sayısı
- Çalışanların devamsızlık oranı

2.4. Üretim

2.4.1. Bakım-onarım

Üretimde en önemli olgulardan biri de bakım-onarımdır. Makine ve teçhizatlar da meydana gelebilecek arıza ve yıpranmanın meydana getirebileceği üretimin durması işletme için büyük zararlara yol açabilmektedir. Bu açıdan işletmenin bu gibi durumlara hazırlıklı olması önem taşımaktadır. Bu doğrultuda belirlenen alt kriterler aşağıda belirtilmiştir:

- Makinelerin üzerinde bakım kartları bulunuyor mu? (Evet/Hayır)
- Bakım planı mevcut mu? (Evet/Hayır)
- Bakım personeli sayısı
- Yedek parça stoku var mı? (Evet/Hayır)
- Plansız ve acil tamir işlerine harcanan toplam zaman / toplam bakım zamanı oranı

2.4.2. Üretim Kontrol

Üretim kontrol, işletmenin hedeflerine uygunluğunu denetler ve sorunları gidermeye çalışarak önleyici rol oynar. Bu doğrultuda belirlenen alt kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- Bir ürünün imalat hattında kontrolden geçme sayısı
- Toplam stok / Toplam Sipariş
- Gerçek üretim/ Hedef üretim

2.4.3. Ar-Ge

Hızla değişen küresel rekabet ortamı ile yeni teknolojiyi oluşturan işletmeler rakiplerinden ayrılmaktadır. Bu açıdan işletmelerin araştırma-geliştirme faaliyetleri yüksek öncelik taşımaktadır. Bu doğrultuda belirlenen alt kriterler aşağıdaki gibidir:

- AR-GE biriminin faaliyet süresi
- AR-GE giderleri / net satışlar

2.4.4. Üretim Teknolojisi

İşletmelerde kullanılan araç gereç, yöntem ve malzemeleri kapsayan ve bunların uygulama alanlarına odaklanan bir kriterdir. Bu kriterle tedarikçinin teçhizat ve donanım yeterliliğini ölçmeye yardımcı olacaktır. Bu kapsamda belirlenmiş olan kriterler aşağıda sunulmuştur:

- İmalata yönelik geliştirilmiş ve uygulanmış yeniliklerin sayısı (daha kaliteli, daha kısa sürede ancak kaliteden taviz vermeden imalatı gerçekleştirmeyi garanti altına alacak şekilde)
- Makinelerin model ve yaşları üretim için yeterli mi ? (Evet/Hayır)
- Yeni geliştirilen ürün sayısı / Toplam ürün sayısı
- İleri imalat teknolojisi kullanımı (CNC, CAD, CAM) (Evet/Hayır)

2.4.5. İmalat Sistemi

İşletme içinde ham maddenin girişinden ürünün çıkışına kadar geçen sürede akıştaki evrelerin planlaması üzerinde durulmuştur. Ayrıca kapasite kullanım oranı dikkate alınmıştır. Bu doğrultuda belirlenen kriterler aşağıdaki gibidir:

- Yerleşim planı üretim için uygun mu ? (Evet/Hayır)
- Bakım onarım için makinelere ulaşım kolaylığı sağlanmış mı ? (Evet/Hayır)
- Geçiş yolları yeterlimi ? (Evet/Hayır)
- Bir seferde üretilebilen mal çeşitliliği
- Kapasite kullanım oranı

2.5. Kalite Kontrol

Kalite kontrolü müşteri gereksinimlerine uygun ürünlerin, işletmedeki faaliyetlerin en verimli bir şekilde gerçekleştirilerek üretilmesini sağlamak üzere sürdürülebilir bir şekilde gerekli planların geliştirilip uygulanmasıdır [20][21]. Bu doğrultuda işletmenin kalite kontrol yönetim seviyesini ölçmek için belirlenen alt kriterler aşağıda sıralanmıştır:

- Hatalı ürün oranı
- Reddedilen ürün/ Toplam ürün
- Yeniden işlenen ürün/Toplam ürün
- Kalite sertifikaları mevcudiyeti (Evet/Hayır)
- Müşteri şikâyetleri sayısı / Toplam müşteri sayısı oranı
- Üretim süreci içindeki denetim noktası sayısı
- Kalite kontrolde çalışan kişi sayısı / Toplam çalışan sayısı
- Ürünlerin garanti süresi

2.6. İş Güvenliği

İş güvenliği, işletmede güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak için yapılan ve yapılması gereken bütün uygulamalara verilen addır. Bir işletmenin iş güvenliği sistemlerini eksiksiz yerine getirmesi hem iş gören, hem de işletme sahibi için karşılıklı kazanç olarak geri döner. Bu açıdan belirlenen kriterler aşağıda sunulmuştur [22]:

- İş kazası sayısı
- İş güvenliği eğitimleri veriliyor mu? (Evet/Hayır)

- OHSAS 18001, İSG yönetim uygulamaların düzeyi nedir?
- Fiziksel, biyolojik, kimyasal risk etmenlerinin desteklenme düzeyi nedir?
- Risk analizleri yeterli mi? (Evet/Hayır)
- Kurulusta İSG uzmanı bulunuyor mu? (Evet/Hayır)
- Kaza kayıt defteri kullanılıyor mu? (Evet/Hayır)
- Meslek hastalığı istatistikleri tutuluyor mu? (Evet/Hayır)

2.7. Esneklik

İşletmenin olası değişiklik durumlarına karşı üretim sistemini bu durumlara göre ne kadar adapte edebildiği ve bunun sonucunda doğabilecek zaman, maliyet gibi kayıpların önüne geçmeyi öngörür. Bu doğrultuda belirlenen alt kriterler aşağıda sunulmuştur:

- Parçalar alternatif makinelerde işlenebilir mi? (Evet/Hayır)
- Makine kurulum süreleri kısa mı? (Evet/Hayır)
- Tipik bir makine birçok farklı operasyon gerçekleştirebilir mi? (Evet/Hayır)
- İşçiler farklı makineleri kullanma kabiliyetine sahip mi? (Evet/Hayır)
- Makine arızalandığında alternatif rotalar kullanılabilir mi? (Evet/Hayır)

2.8. Vana Sektörü

Çalışma için uygulama yapılan firma tarafından belirlenen pilot uygulama alanı vana sektörüdür. Vana üretiminde önemli olan noktaların belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda belirlenen alt kriterler aşağıda verilmektedir:

- Anma basıncında standartlara uygun basınç ve sızdırmazlık testleri yapılıyor mu? (Evet/Hayır)
- Giriş muayenesi analizleri yapılıyor mu? (TSE uygunluk) (Evet/Hayır)
- Bitmiş ürünün ölçüsel temel standartlara uygunluğu test ediliyor mu? (Evet/Hayır)
- Vananın akış direnç değeri muadillerine göre düşük mü? (Evet/Hayır)
- Ürün izlenebilirliği var mı? (ISO 9000 parti numarası) (Evet/Hayır)

2.9. Puanlama Sisteminin Hazırlanması

Tablo 1'de ve Tablo 2'de puanlama sisteminin hazırlama örneği verilmiştir. Buna göre oluşturulan modelde üç tür soru grubu bulunmakta olup, bu soruların değerlendirilmesine ilişkin kılavuz örneği aşağıda verilmektedir.

3. YÖNTEM

3.1. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Analitik hiyerarşi prosesi (AHP) 1980 yılında Saaty tarafından geliştirilen çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) yöntemlerinden biridir [23,24]. AHP yönteminin en önemli avantajı problemi hedef, ana kriterler, kriterler, alternatifler şeklinde hiyerarşik bir yapıda düzenleyip ardından hiyerarşinin altından üst tarafına doğru bir hareket mekanizması kullanarak karar vericinin hükümlerini sentezleyebilmesidir [24]. AHP'de kriterler kendi aralarında ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak değerlendirilir. Değerlendirmelerde Saaty tarafından geliştirilmiş olan 1-9 ölçeği kullanılır [24] (Tablo 3).

AHP yöntemi bağımsız olarak kriterlerin değerlendirilmesine yardımcı olur. Kriterleri birbirinden bağımsız olarak ayırıştırma ve ardından sentezleyerek tek bir sonuçla (0-1 aralığında AHP skoru ile) ifade etme olanağı sağlar. AHP'nin uygulama adımları aşağıda belirtilmiştir [24]:

Adım 1: Hiyerarşik yapı oluşturulur. Hiyerarşik yapıda ana kriterler, alt kriterler ve alternatifler belirlenir.

Adım 2: 1-9 ölçeği ve ikili karşılaştırma matrisleri kullanılarak kriter ağırlıkları hesaplanır. Bu süreçte öncelikle ikili karşılaştırma matrisi normalize edilir. Bu durum her bir matris elemanının ait olduğu sütun toplamına bölünmesiyle gerçekleştirilir. Normalize matrisin satır değerleri toplamı tekrar normalize edilerek kriterlerin ağırlıkları hesaplanmış olur [24].

Adım 3: İkili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığının değerlendirilmesi gerekir. Bunun için tutarlılık oranının (CR-Consistency Ratio) hesaplanması gerekir [24]. Tutarlılık oranı özünde, kriterin önem ağırlıklarını ifade eden öz vektörün ikili karşılaştırma matrisine bölünmesi sonucu elde tutarlılık indeksinin (CI-Consistency Index) rasgele indekse (RI) bölünmesiyle elde edilebilir. Kriter sayısına göre değişim gösteren RI değerleri aşağıda verilmiştir:

$$n=(3; 4; 5; 6) \rightarrow RI=(0,58;0,9;1,12;1,24) \quad (1)$$

Eş.(1) de n, kriter sayısını ifade eder. Hesaplanan CR değerinin %10'dan küçük olması ikili karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğunu gösterir.

Adım 4: AHP sürecinin son adımı kriterlerin önem ağırlıkları ile kriterlerin değerlendirme puanlarının çarpılıp toplanması sonucu alternatifin skorunun hesaplanmasıdır [25].

Tablo 1. Puanlama sistemi

<i>Puan</i> <i>Kriter</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Firmanın hitap ettiği pazar alanı nedir?	Firma sadece kendi yerel bölgesinde çalışıyorsa Pazar alanı kısıtlıdır ve genel bir marka değeri edinmemiştir.	Firma kendi yerel bölgesinde çalışıyor ve ulusal pazara yeni adım atmıştır.	Firma hem kendi yerel bölgesinde hem de ulusal pazarda uzun zamandır çalışmaktadır.	Firma yerel, ulusal pazarda çalışıyor ve uluslararası pazara yeni adım atmıştır.	Firma yerel, ulusal ve uluslar arası pazarda uzun süredir çalışmaktadır.
Kapasite kullanım oranı	Firma %50'den az kapasite kullanım oranına sahiptir. Atıl kapasite aşırı yüksektir.	Firma %50-75 arasında kapasite kullanım oranına sahiptir. Atıl kapasite yüksektir.	Firma %75-85 arasında kapasite kullanım oranına sahiptir.	Firma %85-90 arasında kapasite kullanım oranına sahiptir.	Firma %90'dan fazla kapasite kullanım oranına sahiptir. Atıl kapasite azdır.

Tablo 2. Puanlama sistemi (devam)

<i>Puan</i> <i>Kriter</i>	<i>EVET (1 Puan)</i>	<i>HAYIR (0 Puan)</i>
Ürün izlenebilirliği var mı? (ISO 9000 parti numarasi)	Firmanın ürünlerini takip etmeyi sağlayan lot numaraları mevcuttur. Üretim aşamasındaki ve satış sonrasındaki ürün takibini kolaylaştırır.	Firmanın ürünlerini takip etmeyi sağlayan lot numaraları mevcut değildir. Ürünlerin üretim sırasında ve satış sonrasında takip etmek zordur.

Tablo 3. 1-9 ölçeği [24]

Önem Değerleri	Değer Tanımları
1	Her iki kriterin eşit öneme sahip olması durumu
3	1. Kriterin 2. kriterden daha önemli olması durumu
5	1. Kriterin 2. kriterden çok önemli olması durumu
7	1. Kriterin 2. kriterden nazaran çok güçlü bir öneme sahip olması durumu
9	1. Kriterin 2. kriterden nazaran mutlak üstün bir öneme sahip olması durumu
2,4,6,8	Ara değerler

4. TEDARİKÇİ DEĞERLENDİRME YAZILIMININ OLUŞTURULMASI

Bu bölümde; yukarıda açıklanan bilgiler doğrultusunda AHP modülü ve değerlendirme ölçütlerinin puanlandığı modül Visual Basic yardımıyla MS Excel ortamında kodlanarak tedarikçi değerlendirme programı geliştirilmiştir. Programın çalıştırılmasına ait bir uygulama örneği aşağıda verilmektedir.

Öncelikle geliştirilen programda AHP yönteminin ikili karşılaştırma tekniği uygulanarak kriterlerin ağırlıkları belirlenir (Tablo 4). Karar vericinin ikili karşılaştırma matrisini doldurmasının ardından ağırlıklar ve matrislerin tutarlılık oranları otomatik olarak hesaplanır ve programdaki tedarikçi değerlendirme sayfasına otomatik olarak aktarılır. Tüm kriterler için ağırlıklandırma tablosu ise Şekil 1'de verilmiştir. Hiyerarşik yapının en alt kademesinde yer alan değerlendirme (performans) kriterlerinin ağırlıkları eşit alınmıştır.

Ardından alt kriterlerin değerlendirilmesi yapılır (Şekil 2). Burada değerlendirilecek firma ile ilgili uygun kısımlar "X" ile işaretlenir. Tüm kriterlerin değerlendirilmiş hali EK-1'de sunulmuştur. Tüm girişler yapıldıktan sonra, program değerlendirilen firmanın başarı puanını vermektedir. Bir vana firması için, geliştirilen sistem uygulanmıştır. Yerinde uygulama ile belirlenen tüm kriterler firma yetkilisi ile görüşülüp gerekli tüm dokümanlar incelenerek sorular cevaplandırılmıştır. Çalışmamızda firmanın değerlendirilmesi sonucunda 0-100 aralığında ve yüzde olarak bir sonuç alınmaktadır. Bu sonuçlara göre; % 0-20 aralığı değerlendirme dışı, % 20-40 aralığı başarısız, % 40-60 aralığı kabul edilebilir, % 60-80 aralığı başarılı, % 80-100 aralığı mükemmel olarak belirlenmiştir. Değerlendirme sonucunda firmanın puanı % 79 (0,79)-Başarılı- olarak tespit edilmiştir. Firmanın değerlendirme puanı sonucu puan ölçeğimize göre "başarılı" bulunmuştur. Şekil 3'de firma değerlendirme sonucu gösterilmiştir. Firmalar için yapılmış değerlendirme sonuçlarının izlendiği ekran ise Şekil 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Kriterlerin AHP yöntemiyle ağırlıklandırılması

İkili Karşılaştırma	PAZAR	YÖNETİM	ÜRETİM	VANA SEKTÖRÜ	Normalize Matris	Satur Toplamı	AĞIRLIK
PAZAR 1 ^a	0,5		0,5	1	0,17 ^a	0,11	0,16 ^c
YÖNETİM 2		1	0,5	3	0,33	0,33	0,29
ÜRETİM 2,00		2,00	1,00	4	0,33	0,44	0,44
VANA SEKTÖRÜ 1		0,333333333	0,25	1	0,17	0,11	0,12
Toplam	6 ^a	3,833333333	2,25	9		0,48	1,00

$CI=0,0272$ $CR=0,0302$
 $*1/6=0,17$; $0,63=(0,17+0,13+0,22+0,11)$; $0,16=0,63/4$

İkili Karşılaştırma	ORGANİZASYON	İNSAN KAYNAKLARI	Normalize Matris	AĞIRLIK
ORGANİZASYON 1	2	0,67	0,67	1,33
İNSAN KAYNAKLARI 0,50		1	0,33	0,67
Toplam	3	2,00		2,00

$CI=(2-2)/1=0$ $CR=CI/RI=0/0,9=0$

$1,33=(1*0,67)+(2*0,33)$ $2=1,33/0,67$
 $0,67=(0,5*0,67)+(1*0,33)$ $2=0,67/0,33$

$\bar{2}=(2+2)/2$ Not: Paydada yer alan 2 kriter sayısındır

$CI=(\bar{2}-n)/(n-1)$ Not: n, kriter sayısını temsil eder

İkili Karşılaştırma	TEKNOLOJİ SEVİYESİ	İŞ GÜVENLİĞİ	ESNEKLİK	KALİTE	Normalize Matris	AĞIRLIK
TEKNOLOJİ SEVİYESİ 1	2	2	0,5	0,25	0,36	0,25
İŞ GÜVENLİĞİ 0,5		1	0,5	0,333333333	0,09	0,13
ESNEKLİK 0,50		2,00	1,00	0,5	0,18	0,14
KALİTE 2,00		3,00	2,00	1	0,21	0,21
Toplam	4	8	5,5	2,333333333		1,67

$CI=0,0237$ $CR=0,0264$

İkili Karşılaştırma	BAKIM ONARIM	ÜRETİM VERİMİ	ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	İMALAT SİSTEMİ	AR-GE	Normalize Matris	AĞIRLIK
BAKIM ONARIM 1,00	0,50	0,33	0,5	2,00	0,12	0,06	0,18
ÜRETİM VERİMİ 2,00		1,00	3,00	4,00	0,24	0,51	2,03
TEKNOLOJİSİ 3,00		0,33	1,00	2,00	0,35	0,17	1,01
İMALAT SİSTEMİ 2,00		0,33	1,00	2,00	0,24	0,17	0,89
AR-GE 0,5		0,25	0,5	1	0,06	0,09	0,09
Toplam	8,50	2,42	5,83	11,00		0,08	5,00

$CI=0,0592$ $CR=0,0657$

ANA KRİTER	ALT KRİTER	ÖLÇÜT	ÖLÇÜT AĞIRLIĞI	ALT KRİTER AĞIRLIĞI	ANA KRİTER AĞIRLIĞI	GENEL AĞIRLIK		
PAZAR		Firmanın Pazar payı	0,14286		0,16	0,0225		
		Yeni müşteri sayısı/ toplam müşteri sayısı	0,14286		0,16	0,0225		
		Patent sayısı	0,14286		0,16	0,0225		
		Firma ihracat yapıyor mu ?	0,14286		0,16	0,0225		
		Satışlardan iadeler / Net satışlar	0,14286		0,16	0,0225		
		Firmanın faaliyet süresi	0,14286		0,16	0,0225		
		Firmanın müşteri sayısındaki yıllık artış	0,14286		0,16	0,0225		
YÖNETİM	ORGANİZASYON	İş akış şemaları	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
		Organizasyonda ki hiyerarşi sayısı	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
		Toplam indirect çalışan sayısı / toplam direk çalışan	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
		Toplam yönetici sayısı/Toplam çalışan sayısı	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
		Siparişten itibaren ortalama teslimat süresi	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
		Geç teslimat yapılan Sipariş / Toplam Sipariş	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
		Firma Hitap Ettiği Pazar alanı(yerel-ulusal-uluslar ar	0,14286	0,67	0,29	0,0274		
	İNSAN KAYNAKLARI	İşten çıkan sayısı/ işe giren sayısı	0,2	0,33	0,29	0,0192		
		Kişi başına düşen eğitim giderleri	0,2	0,33	0,29	0,0192		
		Danışmanlık hizmetlerinden faydalanma sayısı	0,2	0,33	0,29	0,0192		
		Personel eğitim seviyesi yüzdeleri	0,2	0,33	0,29	0,0192		
		Çalışanların İşte Devamsızlık Oranı	0,2	0,33	0,29	0,0192		
ÜRETİM	TEKNOLOJİ	BAKIM ONARIM	Makinaların üzerinde bakım kartları bulunması	0,2	0,13	0,27	0,44	0,0030
			Bakım planı mevcutmu	0,2	0,13	0,27	0,44	0,0030
			Bakım personeli sayısı	0,2	0,13	0,27	0,44	0,0030
			Yedek parça stoğu varmı	0,2	0,13	0,27	0,44	0,0030
			Plansız ve acil tamir işlerine harcanan toplam zama	0,2	0,13	0,27	0,44	0,0030
		ÜRETİM VERİMİ	Gerçek üretim/ hedef üretim	0,33333	0,41	0,27	0,44	0,0159
			Bir ürünün imalat hattında kontrolden geçme sayısı	0,33333	0,41	0,27	0,44	0,0159
			Toplam stok / Toplam Sipariş	0,33333	0,41	0,27	0,44	0,0159
		ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	İmalata yönelik geliştirilmiş ve uygulanmış yenilikler	0,25	0,20	0,27	0,44	0,0059
			İleri imalat teknolojisi kullanımı (CNC,CAD,CAM)	0,25	0,20	0,27	0,44	0,0059
			Makinaların model ve yaşlarının yeterliliği	0,25	0,20	0,27	0,44	0,0059
			Yeni Geliştirilen Ürün Sayısı/ Toplam Ürün Sayısı	0,25	0,20	0,27	0,44	0,0059
		İMALAT SİSTEMİ	Yerleşim planı uyumluluğu	0,2	0,18	0,27	0,44	0,0042
			Bakım onarım için makinalara ulaşım kolaylığı sağla	0,2	0,18	0,27	0,44	0,0042
			Geçiş yolları yeterliliği bulunuyor mu?	0,2	0,18	0,27	0,44	0,0042
			Bir Seferde Üretilen Mal Çeşitliliği Oranı	0,2	0,18	0,27	0,44	0,0042
			Kapasite kullanım oranı (mevcut / kullanılan kapasite)	0,2	0,18	0,27	0,44	0,0042
		AR-GE	AR-GE biriminin faaliyet süresi	0,5	0,08	0,27	0,44	0,0050
			AR-GE giderleri / net satışlar	0,5	0,08	0,27	0,44	0,0050
		İŞ GÜVENLİĞİ	İş güvenliği eğitimleri veriliyor mu ?	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
			OHSAS 18001 ,İSG yönetim uygulamalarının düzeyi	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
			Fiziksel,Biyolojik,Kimyasal Risk Etmenlerinin Destek	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
			Risk analizlerinin yeterliliği	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
			Kuruluşta İSG uzmanı bulunuyor mu ?	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
			KKD kullanılıyor mu ?	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
			Meslek hastalığı istatistikleri tutuluyor mu?	0,14286	0,12	0,44	0,0075	
		ESNEKLİK	Parçalar alternatif makinalarda işlenebilir mi?	0,2	0,19	0,44	0,0168	
			Makine anızalandığında alternatif rotalar kullanılabilir	0,2	0,19	0,44	0,0168	
			Makine kurulum süreleri kısa mı ?	0,2	0,19	0,44	0,0168	
			Tipik bir makine birçok farklı operasyon gerçekleştirir	0,2	0,19	0,44	0,0168	
			İşçiler farklı makineleri kullanma kabiliyetine sahiptir	0,2	0,19	0,44	0,0168	
		KALİTE KONTROL	Hatalı ürün oranları	0,125	0,42	0,44	0,0227	
ürünlerin garanti süresi	0,125		0,42	0,44	0,0227			
Kalite Kontrolde Çalışan kişi sayısı / Toplam Çalışan	0,125		0,42	0,44	0,0227			
üretim süreci içindeki denetim noktası sayısı	0,125		0,42	0,44	0,0227			
Reddedilen ürün/ toplam ürün	0,125		0,42	0,44	0,0227			
Rework edilen ürün/toplam ürün	0,125		0,42	0,44	0,0227			
Kalite sertifikaları sayısı	0,125		0,42	0,44	0,0227			
Müşteri şikayetleri sayısı/Toplam müşteri sayısı	0,125		0,42	0,44	0,0227			
VANA SEKTÖRÜ		1						
	Anma basıncında standartlara uygun basınç ve sızdırmazlık testi	0,2		0,12	0,0238			
	Giriş muayenesi analizleri yapılıyor mu? (TSE uygunluk)	0,2		0,12	0,0238			
	Bitmiş ürünün ölçüsel bazda standartlara uygunluğu test edil	0,2		0,12	0,0238			
	Vananın akış direnc değeri muadillerine göre düşük mü?	0,2		0,12	0,0238			
	Ürün izlenebilirliği var mı?(ISO 9000 lot numarası)	0,2		0,12	0,0238			

Şekil 1. Tüm kriterler için ağırlıklandırma tablosu

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1																
2							1	2	3	4	5		GENEL AĞIRLIK			
3							20%	40%	60%	80%	100%	AĞIRLIK	0.157608696			
4													0.125			
5										X			0.125			
6									X			X	0.125			
7									X				0.125			
8									X				0.125			
9						X							0.125			
10												X	0.125			
11						X							0.125			
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																

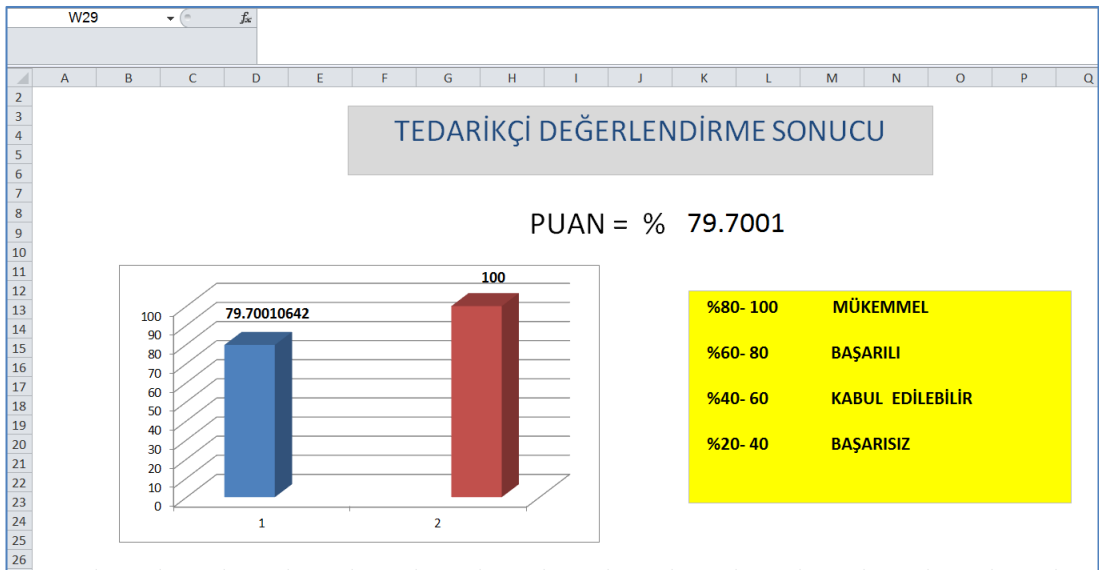
UserForm2

LÜTFEN KRİTERLERİ " X " İLE DOLDURUNUZ

TAMAM

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			

Şekil 2. Pazar kriteri formu



Şekil 3. Değerlendirme sonucu

F10		79.7001064220111				
	A	B	C	D	E	F
1	FİRMA ADI	FİRMA YETKİLİSİ	İLETİŞİM BİLGİLERİ	TARİH	DENETÇİ	PUAN
2	ABC VANA	ALİ KAYA	657	30.05.2013	SERKAN	19.4431
3	CDE VANA	ALİ KAYA	789	30.05.2013	CENK	19.4431
4	DEF VANA	ALİ KAYA	897	30.05.2013	GÖRKEM	19.4431
5	FEG VANA	ALİ KAYA	908	30.05.2013	EREN	19.4431
6	HMN VANA	ALİ KAYA	8696	30.05.2013	CANSU	19.4431
7	STS VANA	ALİ KAYA	7585	30.05.2013	ÖZGE	21.26031
8	BALİ	CAİ	523	12.04.2013	HAKA	21.26031
9	VANA		KAZAN ANKARA	04\06\2013	SERKAN DALARSLAN	79.70011
10	xxxx	yyyy	zzzz	22/10/2018	tttt	

Şekil 4. Değerlendirme kayıt ekranı: 9 numaralı uygulama gerçek uygulama olup, diğerleri programın denenmesi amacıyla oluşturulmuş kayıtlardır.

5. SONUÇ

Her geçen gün artan küresel rekabetle birlikte her bir sektörde büyük bir yarışın olduğu göz önüne alındığında tedarikçi değerlendirme sistemleri işletmeler açısından çok önemli bir konuma yerleşmiştir. Bu çalışmada geliştirilen yazılım, uygulama yapılan firmanın beklentileri ve talepleri doğrultusunda geliştirilmiştir. Yöntemin başka firmalara ve sektörler için uygulanması durumunda gerek kriter ağırlıklarının, gerekse kriter değerlendirme puan aralıklarının değiştirilmesi kolaylıkla yapılabilir. Bu amaçla kullanıcıdan ilgili kriterleri "X" yazarak değerlendirilmesi istenmiştir. Bu değerlendirme sistemi herhangi bir sektörde herhangi bir firma için de rahatlıkla kullanılabilir. Farklı sektör/firmalardaki uygulamalardan önce puanlama yapısı arka planda kolaylıkla değiştirilebilecek tarzda tasarlanmıştır. Bu fonksiyon programın esnek bir yapıya kavuşmasını sağlamıştır.

Çalışma sonuçları firma yetkilileri ile paylaşılmış ve tedarikçi değerlendirme sürecinde tedarikçi değerlendirme sistemi kapsamında kullanılabilir niteliklere sahip bir program olduğu firma tarafından belirtilmiştir. Zaman içerisinde yazılımın firmalar için kullanılması arttıkça farklı dönemlerin yıllar bazında gelişimi, dolayısıyla firmaların tedarikçi olarak performansı da elde edilebilecektir. Dolayısıyla firmalarda yapılan deneme sayısı arttıkça, veriler üzerinde istatistiksel analizler de gerçekleştirilebilir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteklerini esirgemeyen firmaya ve yöneticilerine teşekkür ederler. Firma isteği doğrultusunda ana firma ve uygulama yapılan valf imalatçısı firma isimleri çalışmada gizli tutulmuştur.

A SUPPLIER EVALUATION STUDY FOR DETERMINING THE TECHNICAL AND COMMERCIAL COMPETENCIES OF VALVE MANUFACTURER COMPANIES

Valves are essential elements in most fluid handling systems. Nowadays, evaluating the valve suppliers has strategic importance in competitive environment for fluid handling or piping companies. Many companies, which used to evaluate their suppliers with traditional applications, are now seeking for new evaluation methods. Valve supplier evaluation includes of both quantitative and qualitative attributes, so it is considered as a multi-attribute decision-making (MADM) problem. For this reason, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used in the proposed study.

Keywords: Supplier evaluation, Valve, Analytic Hierarchy Process (AHP), Multi-Attribute Decision Making (MADM).

KAYNAKÇA

1. Amin, S. H., Zhang, G., An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach, *Expert Systems with Applications* 39, (2012) 6782–679.
2. Dağdeviren, M., Dönmez, N., Kurt M., Bir İşletmede Tedarikçi Değerlendirme Süreci İçin Yeni Bir Model Tasarımı ve Uygulaması. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 21, 2, (2006)247-255,
3. İç, Y.T., Yeşiloğlu, A.G., Bir İmalat Firmasında ISO 9001:2015 Kalite Yönetim Sisteminin Kurulması. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 15,2, (2017),58-74.
4. İnaç, H., “Tedarikçi Değerlendirme Sistemi ve Yapılan Değişiklikler”, *Artema Kalite Güvence Müdürlüğü 9.Tedarikçi Günü Sunuşu*, İstanbul, 2004.
5. Ünüvar, M., Tedarik Zinciri Yönetimine Analitik Bir Yaklaşım. *Dokuz Eylül Üniversitesi*, İzmir, 2005.
6. Arıkan, F., Küçükçe Y.S., Satın Alma Faaliyeti İçin Bir Tedarikçi Seçimi-Değerlendirme Problemi ve Çözümü, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 27, 2, (2012) 255-264.
7. Ayyıldız, G., Demirel, N. Ç., Fuzzy Choquet Integral Approach For Multi Criteria Supplier Evaluation Problem, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 28, (2010), 214-223.
8. Ecer, F., Küçük, O., Tedarikçi Seçiminde Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve Bir Uygulama. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 11(1), (2007), 335-369.
9. Yurdakul, M., İç, Y. T. AHP ve Hedef Programlama Yöntemlerinin Sağlayıcı Seçimi Probleminde Kullanılması. *XXII. Ulusal YA/EM Kongresi*, Gazi Üniversitesi, Ankara (2001).
10. Öztürk, A. Erdoğan, Ş. Arıkan, V.S., Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kullanılarak Tedarikçilerin Değerlendirilmesi, Bir Tekstil Firmasında Uygulama. *Dokuz Eylül Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26, 1, (2011), 93-112.
11. Wooten, K.C., Ethical dilemmas in human resource management An application of a multidimensional framework, a unifying taxonomy and applicable codes. *Human Resource Management Review* 11,(2001),159-175.
12. Kannan, D. Diabat, A. Khodaverdi, R. Olfat, L. Jafarian A., Integrated fuzzy multi criteria decision making method and multi objective programming approach for supplier selection and order allocation in a green supply chain. *Journal of Cleaner Production* 47, (2013), 355-367.
13. Amin, S. H. Zhang, G., An integrated model for closed-loop supply chain configuration and supplier selection: Multi-objective approach, *Expert Systems with Applications* 39, (2012) 6782–679.
14. Lin, R., An integrated model for supplier selection under a fuzzy situation. *Int. J. Production Economics* 138, (2012) 55–61.
15. Gencer, C., Gürpınar, D., Analytic network process in supplier selection: A case study in an electronic firm. *Applied Mathematical Modelling* 31, (2007), 2475–2486.
16. Chen, Y., Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. *Information Sciences* 181, (2011), 1651–1670.
17. Demirtas, E., Üstün, Ö., An integrated multi objective decision making process for supplier selection and order allocation. *Omega* 36 , (2008), 76 – 90.
18. Ghodsypour, S. H., O’Brien, C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming. *International Journal of Production Economics*, 56–57, (1998). 199–212.
19. Kasapoğlu, Ö.K., Şimşek, U.T., Pnömatik valf tedarikçisi seçiminde analitik hiyerarşi prosesi. *Yönetim*, 17(53), 2006, 40-51.
20. James, P., *Total Quality Management*, Prentice Hall Europe, Hertfordshire, 1996.
21. Öztürk, A., *Kalite Yönetimi ve Planlaması*. Ekin Yayıncılık, 2009.
22. Eraslan, E., *Başkent Üniversitesi İş sağlığı ve Güvenliği Ders Notları*, 2013.
23. Kamal, M., Subhi, A.H., An Application of AHP in Project Management, *International Journal of Project Management*, 19,(2001), 19-27.
24. Saaty T. “The Analytic Hierarchy Process”, McGraw-Hill International Book Company, USA, 1980.
25. İç, Y.T., *Kredi Talep Eden Endüstri Kuruluşlarını Analitik Hiyerarşi Prosesi ve Doğrusal Programlama Yöntemleriyle Değerlendiren Bir Karar Destek Sisteminin Oluşturulması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2000.

EK 1-Kriter değerlendirme uygulaması

			1	2	3	4	5
Pazar	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
Firmanın Pazar Payı						X	
Firmanın Faaliyet Süresi							X
Firmanın Müşteri Sayısındaki Yıllık Artış					X		
Yeni Müşteri Sayısı/ Toplam Müşteri Sayısı					X		
Patent Sayısı					X		
Firma ihracat yapıyor mu ?	X						
Satışlardan İadeler / Net Satışlar							X
Müşteri Hizmetleri Birimi mevcut mu ?	X						
			1	2	3	4	5
YÖNETİM ORGANİZASYON	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
İş akış şemaları uygulanıyor mu?	X						
Organizasyonda ki hiyerarşi sayısı						X	
Toplam indirekt çalışan sayısı / toplam çalışan sayısı							X
Toplam yönetici sayısı / toplam çalışan sayısı						X	
Siparişten itibaren ortalama teslimat süresi							X
Geç teslimat yapılan sipariş/ toplam sipariş					X		
			1	2	3	4	5
İnsan Kaynakları	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
İşten çıkan sayısı/ işe giren sayısı						X	
Kişi başına düşen eğitim giderleri					X		
Danışmanlık hizmetlerinden faydalanma sayısı					X		
Personel eğitim seviyesi yüzdeleri						X	
Çalışanların İşte Devamsızlık Oranı							X
			1	2	3	4	5
Bakım Onarım	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
Makinaların üzerinde bakım kartları bulunuyor mu?	X						
Bakım planı mevcut mu	X						
Bakım personeli sayısı					X		
Yedek parça stoğu var mı	X						
Plansız ve acil tamir işlerine harcanan toplam zaman /toplam bakım zamanı						X	
			1	2	3	4	5
ÜRETİM KONTROL	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
Gerçek üretim/ hedef üretim						X	
Bir ürünün imalat hattında kontrolden geçme sayısı						X	
Toplam stok / Toplam Sipariş						X	
			1	2	3	4	5
ARGE	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
AR-GE biriminin faaliyet						X	
AR-GE giderleri / net satışlar						X	
			1	2	3	4	5
ÜRETİM TEKN.	EVET	HAYIR	20%	40%	60%	80%	100%
İmalata yönelik geliştirilmiş ve uygulanmış						X	
İleri imalat teknolojisi kullanımı (CNC,CAD,CAM)	X						
Makinaların model ve yaşlarının yeterliliği						X	
Yeni Geliştirilen Ürün Sayısı/ Toplam Ürün Sayısı					X		

EK 1-Kriter değerlendirme uygulaması (devam ediyor)

			1	2	3	4	5
İMALAT SİSTEMİ			20%	40%	60%	80%	100%
EVET	HAYIR						
		Yerleşim planı uyumluluğu			X		
		Bakım onarım için makinalara ulaşım kolaylığı sağlanmış mı				X	
		Geçiş yolları yeterliliği					X
		Bir Seferde Üretilen Mal Çeşitliliği Oranı			X		
		Kapasite kullanım oranı (mevcut /kullanılan kapasite)				X	
KALİTE KONT.			1	2	3	4	5
EVET	HAYIR		20%	40%	60%	80%	100%
		Hatalı ürün oranları			X		
		Reddedilen ürün/ toplam ürün				X	
		Rework edilen ürün/toplam ürün			X		
		Kalite sertifikaları sayısı				X	
		Müşteri şikayetleri sayısı/Toplam müşteri sayısı					X
		Üretim süreci içindeki denetim noktası sayısı				X	
		Kalite Kontrolde Çalışan kişi sayısı / Toplam					X
		Ürünlerin garanti süresi			X		
İŞ GÜVENLİĞİ			1	2	3	4	5
EVET	HAYIR		20%	40%	60%	80%	100%
		İş kazası sayısı				X	
X		İş güvenliği eğitimleri veriliyor mu ?					
		OHSAS 18001 ,İsg yönetim uygulamaların düzeyi	X				
X		Fiziksel,Biyolojik,Kimyasal Risk Etmenlerinin Desteklenmesi					
X		Risk analizleri yeterli mi?					
X		Kuruluşta İsg uzmanı bulunuyor mu ?					
X		KKD kullanılıyor mu ?					
	X	Meslek hastalığı istatistikleri tutuluyor mu?					
ESNEKLİK			1	2	3	4	5
EVET	HAYIR		20%	40%	60%	80%	100%
X		Parçalar alternatif makinalarda işlenebilir mi?					
X		Makine arızalandığında alternatif rotalar kullanılabilir mi?					
X		Makine kurulum süreleri kısa mı ?					
	X	Tipik bir makine birçok farklı operasyon gerçekleştirebilir mi?					
	X	İşçiler farklı makineleri kullanma kabiliyetine sahip mi?					
VANA SEKTÖRÜ			1	2	3	4	5
EVET	HAYIR		20%	40%	60%	80%	100%
X		Anma basıncında standartlara uygun basınç ve sızdırmazlık testleri yapılıyor mu?					
X		Giriş muayenesi analizleri yapılıyor mu? (TSE uygunluk)					
X		Bitmiş ürünün ölçüsel bazda standartlara uygunluğu test ediliyor mu?					
X		Vananın akış direnç değeri muadillerine göre düşük mü?					
X		Ürün izlenebilirliği var mı?(ISO 9000 lot numarası)					

YAYIN İLKELERİ

Amaç

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

Kapsam

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

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

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

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

Makalelerin Değerlendirilmesi

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

YAYIN HAKKI

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

ÇALIŞMA İLKELERİ

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

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

Journal of MECHANICAL DESIGN AND PRODUCTION

Journal of Mechanical Design and Production is a periodical, published by the Turkish Mechanical Design and Production Society, 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.

Örnek makale <http://matim.org.tr/> sitesinde verilmiştir. Yazarlar, makalelerini TÜBİTAK ULAKBİM tarafından yürütülen <http://dergipark.gov.tr/matim> sitesine yüklemelidirler. Bir sorun ile karşılaşılırsa İlhan Konukseven (konuk@metu.edu.tr) veya Bilgin Kaftanoğlu (bilgin.kaftanoğlu@atilim.edu.tr) ile iletişim kurabilirler. Yazarlar, yayımlanma kabulünü takiben makalenin en son halini elektronik olarak aynı şekilde yüklemelidirler. Kelime-işlemci olarak Windows işletim sisteminde çalışan MS Word program paketi kullanılmalıdır.

MAKALE KABUL İLKELERİ

Makaleler içerik ve şekil olarak aşağıda belirtilen biçimde hazırlanmalıdır.

Yazım Dili

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

Makalenin Yapısı

Makaleler, aşağıda verilen yapıda olacak şekilde hazırlanmalıdır.

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

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

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

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

Makalenin ana kısmında makalenin amacından söz edildikten sonra bir mantık zinciri içinde sorun 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, bilgisayar ile 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 bilgisayar kullanımında "I" (Ie) 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 bilgisayar ile, düzgün ve yeterli çizgi kalınlığında çizilmelidir. 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 yeterli çözünürlükte sağlanmalıdır. Ayrıca şekiller için verilen kurallara uyulmalıdır. Derginin elektronik ortamda renkli olarak yayınlanacağı dikkate alınmalıdır.

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

Dip Notu

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

Kaynakça

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

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

Makalenin Uzunluğu ve Yazımı

Dergide yayımlanacak makaleler 13 makale sayfasını geçmemelidir. Makaleler bilgisayar ile A4 formatında, iki aralıklı olarak yazılmalı ve sayfa kenarlarında yeteri kadar boşluk bırakılmalıdır.

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

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

YAZIŞMALAR

Belirtilmemesi durumunda konuyla ilgili yazışmalar birinci yazarın adresine gönderilir.

1. Örnek dip notu