

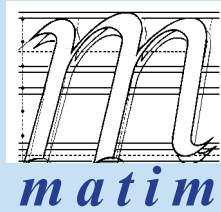
ISSN 1302-9487

MAKİNA TASARIM VE İMALAT DERGİSİ

Cilt: 16

Sayı: 2

Kasım 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: 2

JOURNAL OF
MECHANICAL DESIGN
AND PRODUCTION

Vol: 16 No: 2

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

İnsan Kolu Humerus Kemiğinde Basma Geriliminin İncelenmesi 43

Orhan Erden
Nuriye Nur Kaya

Briket Makineleri Elektromekanik ve Pnömatik Toplama Robotu Tasarımı 48

Hüseyin Karakoç
Orhan Erden

Alüminyum Ekstrüzyonu Üzerine Sayısal ve Deneysel Bir İnceleme 60

Hakan Kalkan

Bağlantı Elemanları Şekillendirme Kalıplarının Aşındırıcı Akışkan Yöntemiyle Parlatılması 66

Ömer Eyercioğlu
Kürşad Göv
Adem Aksoy
Mehmet Aladağ

Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler İçin İşleme Merkezi Seçiminde Kullanılabilecek Bir Karar Destek Sistemi 71

Yusuf Tansel İç
Emin Kabacaoğlu
Çağlar Tümay
Hasan İnanç Demirtaş

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

İnsan Kolu Humerus Kemiğinde Basma Geriliminin İncelenmesi

Orhan Erden

Gazi Üniversitesi
Endüstriyel Tasarım
Mühendisliği Bölümü
Ankara

Nuriye Nur Kaya

Gazi Üniversitesi
Endüstriyel Tasarım
Mühendisliği Bölümü
Ankara

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, sonlu elemanlar modeli kullanılarak insan vücudunun yüke maruz kalan bölgeleri incelenerek, tedavi yöntemleri geliştirilmektedir. Ayrıca, kemik biyomekaniği üzerine yapılan çalışmalarda implant tasarımlarına ışık tutmaktadır. Bu çalışmada, yüke maruz kalan bölgelerden biri olan humerus kemiği incelenmiştir. İnsan kemiği üzerinde araştırma yapma imkanı bulunamayacağından dolayı bilgisayarlı tomografi cihazı sayesinde humerus kemiğinin 3B biyomodeli oluşturulmuştur. Oluşan modele, humerus kemiğine uygulanan sonlu elemanlar analizi yöntemi ile basma gerilmesi uygulanmıştır. Sonuç olarak; humerus kemiği modeline, uygulanan sonlu elemanlar analizi yöntemi ile basma gerilimi kuvvet, moment ve tork değerleri arttıkça gerilme ve gerilimlerin de arttığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Biyomekanik, Bilgisayar Destekli Modelleme, Sonlu Elemanlar Metodu.

1. GİRİŞ

Biyomekanik; biyoloji ve mühendislik tekniklerinin birlikte incelendiği bilim dalıdır. Biyomekaniğin amacı, uygulanabildiği alanlardaki fiziksel sistemleri tanımlamak, nicel ilişkiler ve bağıntılar araştırmak, bulunan sonuçları klinik uygulamalarda kullanarak insan ve hayvan yaşamını iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapmak şeklinde açıklanabilir.

Tersine Mühendislik, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), Bilgisayar Destekli Üretim (BDÜ), Bilgisayar Destekli Mühendislik (BDM) ve diğer yazılımlarda kullanılmak üzere, varolan parçaların (3B) sanal modellerinin oluşturulması için kullanılabilir bir metod haline gelmiştir. Tersine mühendislik işlemi, bir objenin ölçümünü ve ardından 3B model olarak oluşturulmasını içerir. Fiziksel objenin boyutları; koordinat ölçme makinesi (Coordinat measuring machine, CMM), üç boyutlu üçgenli lazer tarayıcılar kullanılarak ölçülebilir. Tersine mühendislik aynı zamanda, işletmeler tarafından, kendi ürünlerinin üç boyutlu dijital kayıtlarını yapmak veya rakiplerinin ürünlerine değer biçmek için, var olan fiziksel geometriyi dijital ürün geliştirme ortamlarına aktarmak için kullanılır[1].

Örneğin; bir ürünün nasıl çalıştığını, ne yaptığını hangi bileşenlerden oluştuğunu; analiz etmek için, maliyetini hesaplamak için ve potansiyel patent ihlalini saptamakta kullanılır[2]. Tersine Mühendislik Yöntemleri; Fotogrametri Yöntemi, Optik Tarama, Lazer Tarama vb. yöntemlerdir.

Radyo dalgaları kullanılarak tanıların konulmasında kullanılan cihazlar Magnetik Rezonans Görüntüleme (MRI) ve Bilgisayarlı Tomografi (BT) cihazlarıdır. Bu cihazlardan elde edilen görüntüler tıpta kullanılmalarının yanı sıra mekanik analizlerde de kullanılmaktadır[3]. Mekanik analizler için 3B biyomekanik modellerin katman filmlerini sağlamaktadır. Kemiklerin 3B modellenmesinde BT kullanılırken, yumuşak dokuların modellenmesinde MRI cihazı kullanılmaktadır.

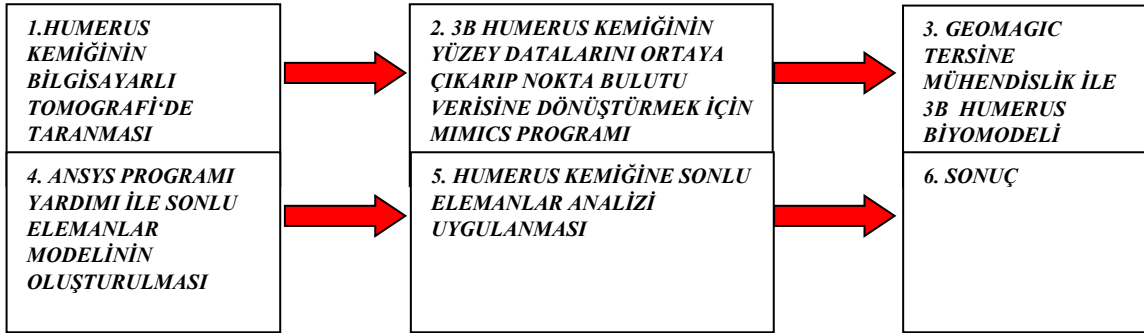
Bu çalışmada Bilgisayarlı Tomografi (BT) cihazından elde edilen görüntülerden humerus kemiğinin 3B biyomodeli oluşturulmasında kullanılmıştır. Daha sonra oluşturulan modele, humerus kemiğine uygulanan sonlu elemanlar analizi yöntemi ile basma gerilmesi uygulanmıştır.

2. HUMERUS KEMİĞİNİN MODELLENMESİ

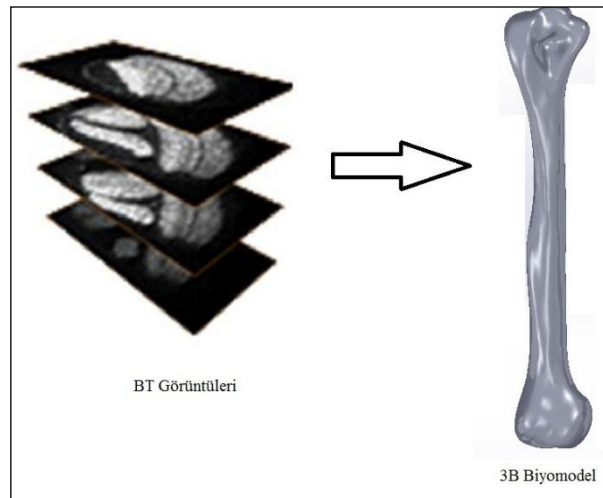
3B modelleri oluşturmak için birçok aşama gereklidir. Bu aşamalardan ilki “Görüntü Yakalama”dır. Bu aşamada yeterli sayıda aksel kesitin biraraya getirilmesiyle 3B hacimsel yapı oluşturulur. İkinci aşama “Görüntünün İşlenmesi”dir. BT tekniği aracılığıyla elde edilen hacimsel yapı, bazı işlemlerden geçirilerek 3B model basımına uygun hale getirilmektedir. Bu işlemleri gerçekleştirmek için yardımcı programlar kullanılır.

2.1. 3B Modelleme

Çalışmada kullanılacak humerus kemiğinin birebir modeli, BT çekimi sonrasında MIMICS yazılımı ile elde edilmiştir. Görselleştirme ve segmentasyon işlemleri için BT görüntülerini kullanan Materialise's Interactive Medical Image Control System (MIMICS) interaktif bir yazılımdır. Humerus kemiğinde meydana gelen parlamalar ve BT çekim anında oluşan istenmeyen görüntülerin kaldırılması ve düzenlenmesinde GEOMAGIC yazılımından faydalanılmıştır. 3B biyomodel elde etmek için kullanılan iş akış prosedürü Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. 3B modelleme akış şeması



Şekil 2.2. Biyomodel oluşumu

2.2. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

BT görüntü katmanı MIMICS yazılımında DICOM (The Digital Imaging and Communications in Medicine) formatında olmak kaydıyla kullanılabilir. Şekil 3.7’de örnek gösterimi verilen BT kesitleri MIMICS yazılımından birbirlerine eklenerek modelin birebir yüzey formu bir katman olarak elde edilir. Bu yüzey biçimi yine MIMICS içeriğine entegre olmuş katı modelleme aracı ile BT çekimi yapılan unsurun birebir 3B katı modeli elde edilir.

Oluşan 3B katı model ANSYS 13 programında mesh yapılarak sonlu elemanlar modeli oluşturulmuştur. SolidWorks 2012 programından mass properties komutu ile kemiğin kütle özellikleri bulunmuştur. Mesh yapılma anında sıkıntılar yaşanmıştır. Oluşan sıkıntının sebebi kemiğin yapısının çelik bir malzeme gibi her tarafında aynı moleküler yapıya sahip olmamasından kaynaklanmaktadır. Kemiğin hiçbir yeri düzgün olmadığı için optimum mesh kullanılarak mesh gerçekleştirilmiştir.

Analizler ANSYS Sonlu Elemanlar yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Eleman tipi olarak Solid95 kullanılmıştır. Kullanılan Solid95'in özelliklerinde; 3 boyutta bütün elemanları kullanılabilmektedir. Aynı zamanda 3B en çok serbestlik derecesine sahiptir. Analiz için kullanılan yapı kemik olduğundan ve birçok eğri yüzeylerin bulunmasından dolayı da Solid95 kullanılmasına sebep olmuştur. Çünkü eğri yüzeylerde en güzel sonucu Solid95 vermektedir. Ayrıca, Solid45 8 noda sahip iken, Solid95 20 noda sahiptir. Solid45 PC'de daha az yer tutmaktadır fakat Solid95 daha kesin ve doğru sonuçlar vermektedir.

Humerus kemiğinin analizleri ANSYS'in multifix modülünde yapılmıştır. Humerus kemiğinin malzeme özelliklerinden; Elastikiyet modülü (GPa): $E_x=E_z=7$, $E_y=11.5$, $G_{xy}=G_{yz}=3.5$, ve Poisson oranı=0.3 olarak alınmıştır [4] (Çizelge 2.1.).

Çizelge 2.1. Humerus kemiği malzeme özellikleri

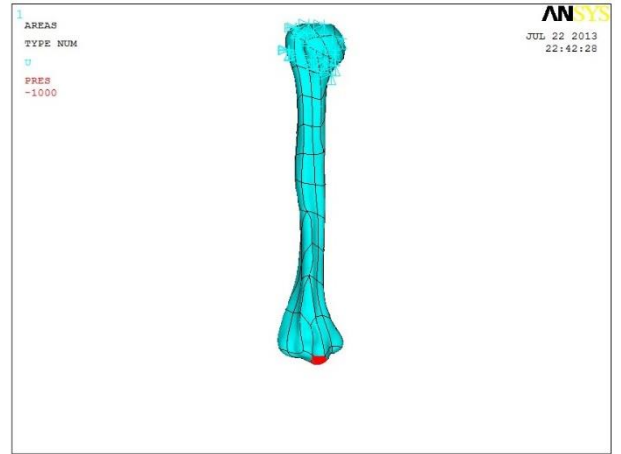
	Elastikiyet modülü (Gpa)	Poisson oranı
Humerus kemiği malzeme özellikleri	$E_x=E_z=7$ $E_y=11,5$ $G_{xy}=G_{yz}=3,5$	0,3

3. HUMERUS KEMİĞİNE BASMA GERİLİMİNİN UYGULANMASI

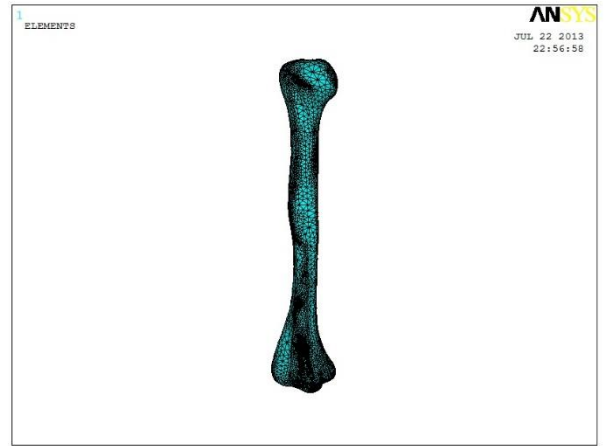
Basma Gerilmesi (σ_b): Bir malzemeye basma kuvveti uygulanırken malzemenin karşı gösterdiği gerilme basma gerilmesidir. Oluşan değer elastikiyet modülü ile birim kısalma miktarının çarpılması ile elde edilir. Toplam kısalma miktarının malzemenin toplam uzunluğuna bölünmesi ile birim kısalma miktarı bulunur. Cisim kısaldııkça kesit alanı azalma gösterir. Malzeme kısalırken kesit alanında oluşan genişlemenin hesaba katılmasıyla "Gerçek Basma Gerilmesi" bulunur; kırılma kuvveti kırılma anındaki kesit alanına bölünerek gerçek basma gerilmesi hesaplanır.

Basma gerilmesi humerus kemiğinin en alt ucundaki en çıkıntı yere uygulanmıştır (Şekil 3.1). Basma gerilmesi için oluşturulan sınır şartı Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Humerus kemiğine basma gerilmesi uygulanması için optimum mesh yapılmıştır. Basma gerilmesi için oluşturulan mesh Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

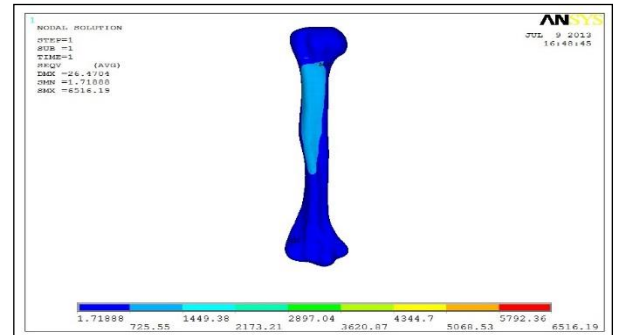


Şekil 3.1. Basma gerilmesi için oluşturulan sınır şartı

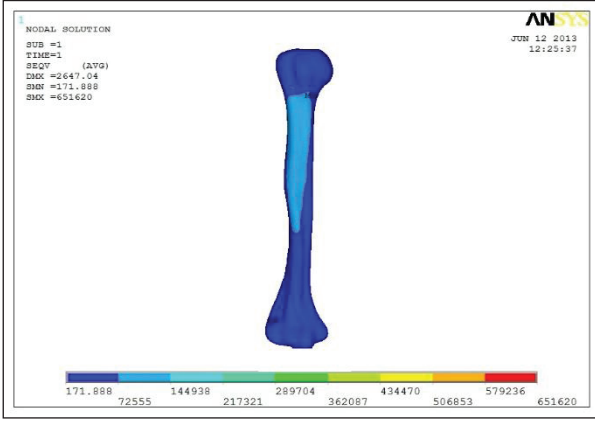


Şekil 3.2. Basma gerilmesi için oluşturulan mesh

Humerus kemiğine uygulanacak basma gerilmesi için modelin meshi ve sınır şartlarından belirlenmiştir. Daha sonra humerus kemiğine gerilmeler uygulanmıştır. Basma gerilmesi için uygulanan kuvvet değerleri 50 N'dan başlayıp 10000 N'a kadar tekrarlanmıştır. Kuvvetler 100'er N aralıklarla uygulanmıştır.



Şekil 3.3. Basma gerilmesi modeline uygulanan 100 N kuvvet



Şekil 3.4. Basma gerilmesi modeline uygulanan 10000 N kuvvet

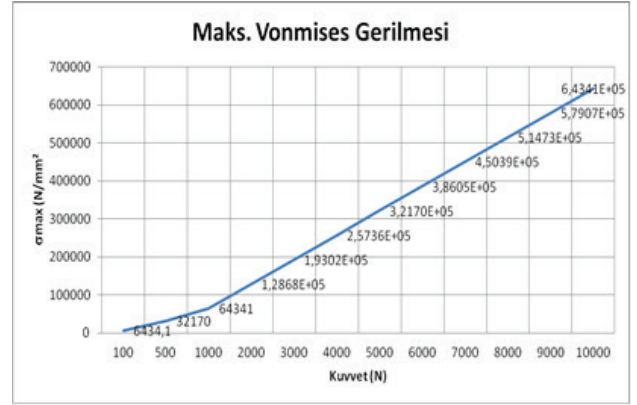
Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 görüldüğü gibi basma gerilmesi sonucunda humerus kemiğinde oluşan maksimum *vonmises* gerilmesi 10000 N için 651620 MPa iken 100 N için 6516,19 MPa olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca minimum *vonmises* gerilmeleri 10000 N için 171,888 MPa, 100 N için 1,71888 MPa olarak bulunmuştur. Maksimum gerilme 10000 N olarak gözlemlenmiştir. Humerus kemiğine uygulanan basma gerilmesinde oluşan maksimum ve minimum gerilmelerde maksimum gerilme kemiğin baş kısmında görülürken, minimum gerilmenin kemiğin alt kısmında çıktığı görülmüştür.

Basma ve çekme gerilmesinde oluşan başlıca gerilme ve gerinimler Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Basma gerilmesindeki başlıca gerilme ve gerinimler

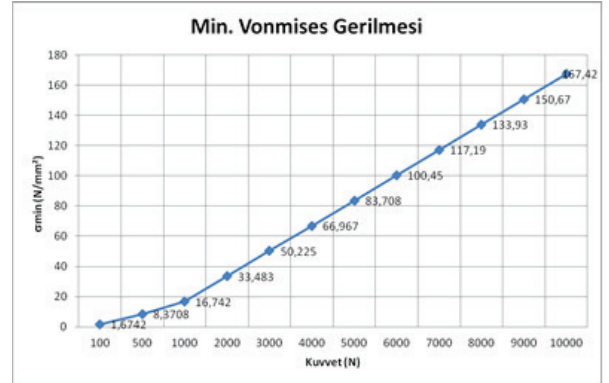
F (N)	σ_{min} (N/mm ²)	σ_{max} (N/mm ²)	ϵ_{min} (mm)	ϵ_{max} (mm)
100	1,6742	6434,1	0,15481E-04	0,72057E-01
500	8,3708	32170	0,77407E-04	0,36028
1000	16,742	64341	0,21600E-04	0,72057
2000	33,483	0,12868E+06	0,30963E-03	1,4411
3000	50,225	0,19302E+06	0,46444E-03	2,1617
4000	66,967	0,25736E+06	0,61926E-03	2,8823
5000	83,708	0,32170E+06	0,77407E-03	3,6028
6000	100,45	0,38605E+06	0,92888E-03	4,3234
7000	117,19	0,45039E+06	0,10837E-02	5,0440
8000	133,93	0,51473E+06	0,12385E-02	5,7645
9000	150,67	0,57907E+06	0,13933E-02	6,4851
10000	167,42	0,64341E+06	0,15481E-02	7,2057

Şekil 3.5’deki grafikte humerus kemiğine F kuvvetine göre maks. *vonmises* gerilmesine bakılmıştır. Kuvvet değeri arttıkça maks. gerilmenin arttığı gözlenmiştir.



Şekil 3.5. Basma gerilmesindeki maks. *vonmises* gerilmesi

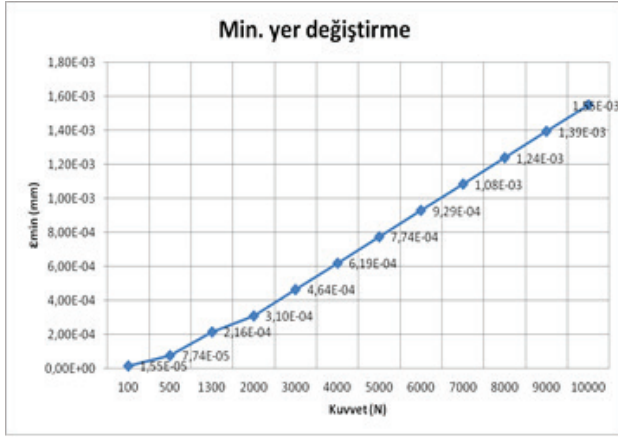
Şekil 3.6’deki grafikte humerus kemiğine F kuvvetine göre min. *vonmises* gerilmesine bakılmıştır. Kuvvet değeri arttıkça min. gerilmenin arttığı gözlenmiştir.



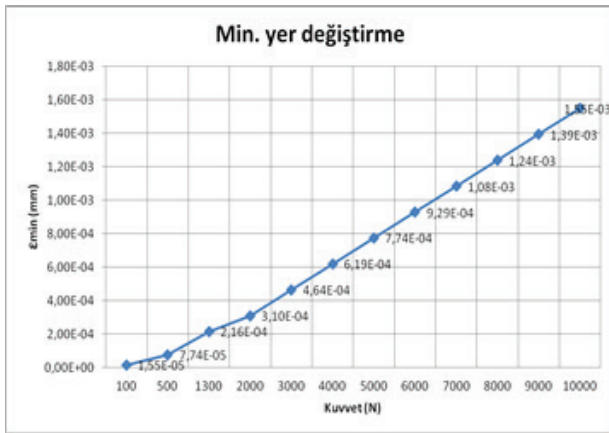
Şekil 3.6. Basma gerilmesindeki min. *vonmises* gerilmesi

Şekil 3.7’deki grafikte humerus kemiğine F kuvvetine göre min. yer değiştirmeye bakılmıştır. Kuvvet değeri arttıkça min. yer değiştirmenin arttığı gözlenmiştir.

Şekil 3.8’deki grafikte F kuvvetine göre maks. yer değiştirmeye bakılmıştır. Kuvvet değeri arttıkça, maks. yer değiştirmenin arttığı gözlenmiştir.



şekil 3.7. Basma gerilmesindeki min yer değiştirme



şekil 3.8. Basma gerilmesindeki maks. yer değiştirme

4. SONUÇ

Basma gerilmelerinde belli aralıklarda alınan kuvvetler ile basma analizi yapılmıştır. Kuvvetin cinsi kuvvetin büyüklük parametrelerine bağlı olarak humerus kemiğinde oluşan maksimum ve minimum gerilmeleri ve yerdeğiştirmeleri 3 boyutlu olarak incelenmiştir. Burulma A (x_i , y_i , z_i) noktalarının uzaydaki tanımları gerçeleştirilmiştir. Gerilmenin hangi noda, hangi koordinatta, ne kadar olduğu irdelenmiştir. Oluşturulan modele, humerus kemiğine uygulanan sonlu elemanlar analizi yöntemi ile basma gerilimi kuvvet, moment ve tork değerleri artıka gerilme ve gerinimlerin artığı görülmüştür. Humerus kemiğine uygulanan analiz sonuçları ile Yapay Sinir Ağı modeli oluşturulabilir. Bu modelle, kemiğin modeli, kalınlığı, elastikiyet modülü, poisson oranı değiştirilerek farklı kemik özelliklerindeki numunelerin zorlanmalara karşı dayanımı ve en kritik noktalar belirlenebilir.

INVESTIGATION OF COMPRESSION TENSION IN HUMERUS OF HUMAN ARM

In the recent years, analyzing the areas of the human body that exposed to weight by using finite element model, and developing treatment methods has been subjected to studies. Also, the studies performed about bone biomechanics shed light on implant designs. In this study, the Humerus bone, an area of the human body that has been subject to weight, has been examined. Due to the unavailability of using a normal bone, a 3D bio-model of the Humerus bone has been generated by has been used compressive force has been applied to humerus bone by using finite elements method. Increase of stress and strain values, by the increase of force has been observed.

Keywords: Biomechanics, Computer Aided Modelling, Finite Element Method.

KAYNAKÇA

1. Çilli M., “İnsan hareketlerinin modellenmesi ve benzeşiminde temel bileşenler analizi yönteminin kullanılması”, *Hacettepe Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 40-50 (2009).
2. Mehta, B. V., Rajani, S. ve Griffith, R., “Modeling and Analysis of the Human Tibia Using MRI and Ultrasound Imaging”, *Biosignal '94 Proceedings*, Biomed, Czech Republic, (1994).
3. Toprak Y., “İnsan bacağının sonlu elemanlar modelinin oluşturulması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Fen Bilimleri Enstitüsü*, 32-40(2008).
4. Sunghwan K., Miller M.C., “ Contact stress analysis of the radial head and radial head implants, *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, 21 (2012).

Hüseyin Karakoç

Gazi Üniversitesi
Endüstriyel Tasarım
Mühendisliği Bölümü
Ankara

Orhan Erden

Gazi Üniversitesi
Endüstriyel Tasarım
Mühendisliği Bölümü
Ankara

Briket Makineleri Elektromekanik ve Pnömatik Toplama Robotu Tasarımı

Briket makineleri ekipmanlarına olan ihtiyaç ülkemizde artan iş gücü maliyetleri ve üretim hızı ihtiyaçları doğrultusunda hergeçen gün artmaktadır. Briket makineleri sevke hazır hale gelmiş briketlerin üretim paletlerinden sevk paletlerine aktarılması ve stok veya nakliyyeye hazır hale getirilmesini sağlayan toplama robotları şeklini almıştır. Toplama robotları stok sahasına alınmaya hazır hale gelmiş kuru ürünlerin dizilimini sağlamaktadır. Bu çalışmada, öncelikle briket makineleri ve ekipmanları hakkında literatür taraması yapılmıştır. Daha sonra bu prensipler ve çalışma mantığı göz önünde bulundurularak elektromekanik yapıya uygun ve pnömatik sıkma çenelerini bünyesinde barındıran toplama robotunun aşama aşama tasarımı açıklanmıştır.

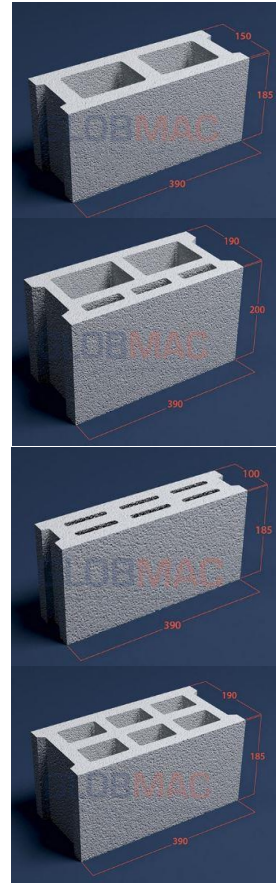
Anahtar Kelimeler: briket makineleri, elektromekanik, pnömatik, endüstriyel tasarım

1. GİRİŞ

Yapı ve inşaat sektöründe kullanılmak amacı ile ülkelerin ve şehirlerin, iklimsel ve coğrafi şartlarına göre belirlediği standartlara uygun sertlik, yük taşıma kapasitesi, ses izolasyonu, ısı yalıtım kabiliyeti ve uygun ölçülerde briket üreten makineler genel adıyla briket makinesi olarak adlandırılır. Briket makineleri genel olarak bir çevrimde bastıkları briket adetine göre isimlendirilirler. Örneğin bir çevrimde 12 briket basan bir makine 12li briket makinesi, bir çevrimde 18 briket üreten bir makine 18li briket makinesi olarak adlandırılır. Şekil 1.'de briket makinesi örneği verilmiştir. Şekil 2.'de ise briket makinesinde üretilebilecek çeşitli ürünlere yer almaktadır. İsteğe bağlı olarak ve ülke standartlarına göre ölçüler farklılık gösterebilir.

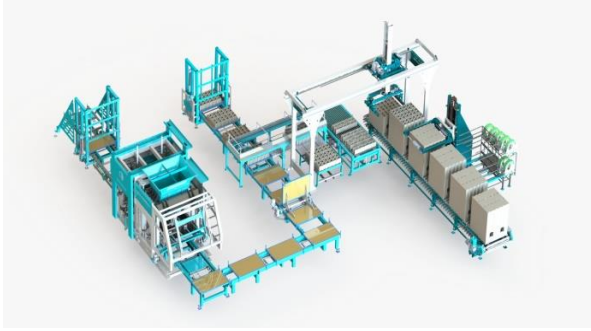


Şekil 1: Briket Makinesi Örneği



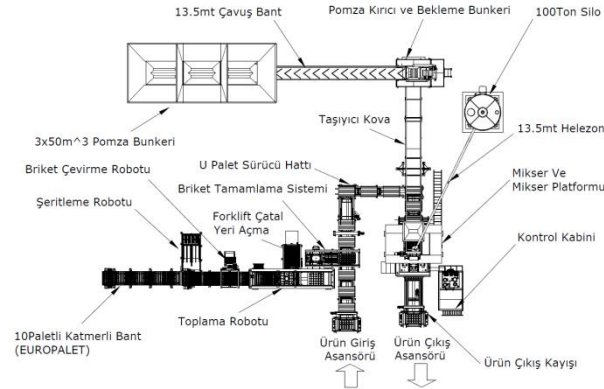
Şekil 2. Briket Makinesinde Üretilen Çeşitli Briketler[1]

Günümüz ihtiyaçları ve her coğrafyadaki hammaddeye uygun olacak şekilde ve insan fizyolojisine uygun olarak projesi tasarlanıp, uzun ömürlülük, zaman içinde gelişen teknolojide atıl duruma düşmeyip üreticinin artan ihtiyaçlarına göre, briket makinası ek donanımlarına uygun şekilde briket makinası imalatı gerçekleştirilir (Şekil 3.). Briket makineleri tesislerinde üretimi hızlandırmak ve standart üretim amacıyla çeşitli ekipmanlar ile birlikte kullanılmaktadır (Şekil 4.).



Şekil 3. 12 li Briket Makineleri Tesis Yerleşim Örneği

Yapılan çalışmada briket makineleri ekipmanları hakkında bilgiler verildikten sonra Toplama Robotu'nun tarihi gelişimine değinilmiştir. Ayrıca tasarlanan Toplama Robotu'nun tasarım aşamalarına yer verilmiştir.



Şekil 4. 12li Briket Makineleri Açıklamalı Tesis Yerleşim Örneği

2. BRİKET MAKİNESİNDE KULLANILAN EKİPMANLARI İLE İLGİLİ LİTERATÜR TARAMASI

Çimento dünya'da en yaygın kullanımı olan malzemeler arasındadır. İnşaat sektöründe çimentodan üretilen harçlar kolay şekillendirilebildiğinden hemen hemen her yerde kullanılmaktadır [2]. Yüzyıllar önce, kum ve kireç kombinasyonları harç olarak kullanılmıştır. Fakat kirecin kullanımının dayanım

kazanma sürecini çok fazla uzattığı bilinmektedir [3]. Sektörel gelişmeler kirecin yerini çimentonun almasını sağlayarak, harçların kullanımını daha çok duvarcılıkta mümkün kılmıştır. Beton onarımı, inşaat tadilatı, fayans sabitleme, cıvataların tutturulması gibi diğer birçok uygulama da yeni harç üretimleri ile başarılı bir şekilde denenmiştir [4, 5]. Harçlarda hafif agregaların kullanımı gündeme geldiğinde mekanik özelliklerden çok yalıtımsal değer ve hafiflik dikkate alınmaktadır. Genleştirilmiş perlit, taban külü ve bims gibi agregaların kullanımı ile hafif ürünler elde etmek ve bu ürünlerden ısı izolasyonu elde etmek mümkündür [6, 7]. Perlit doğal bir kaynak olup Türkiye, Dünya rezervinin %74'üne sahiptir ve yaklaşık 6.6 Milyon tonun 4.5 Milyon tonu Türkiye'dedir [8, 9]. Ayrıca Türkiye 10 farklı tipte 3 Milyar m³ lük bims agregası rezervine de sahiptir [10]. Bu yüzden bu tür mevcut doğal kaynakların kullanılarak inşaat sektörüne kazandırılması da son zamanlarda popüler olan geri dönüşüm kadar önem taşımaktadır. Perlit ve bims; iç boşluklarının fazla olmasından dolayı; hafiflik, ısı yalıtımı ve yanmazlık yönleriyle çok tercih edilebilecek, enerji etkinliğini arttırabilen malzemelerdir [11].

Briket makinelerinde kullanılan bir diğer hammadde ise pomzadır. Pomza boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani olarak bünyeyi terk etmesi ve ani soğuması nedeniyle, mikro ölçekten mikro ölçüğe kadar sayısız gözenek içerir. Gözenekler arası genelde bağlantısız boşluklu olduğundan, permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir. Pomza kendisine özgü bazı özellikleri ile benzer volkanik camsı kayalardan (perlit, obsidyen, peks-tayn) ayrılır. Bunlardan rengi, gözenekliliği ve kristal suyunun olmaması ile pratik olarak ayrılmaktadır. Özgül ağırlığı 1-2 gr/cm³ civarındadır. Yeryüzünde en yaygın olarak bulunan ve kullanılan türü olan asidik pomza beyaz kirli görünümde ve grimsi beyaz renktedir. Asidik karakterli pomzalarda silis oranı daha yüksek olup, inşaat sektöründe yaygın kullanım alanı bulabilmektedir. [12] Pomzalar volkanik bir maden oldukları için bölge değişken özelliklere sahip olabilir (Şekil 5.).

Briket Makinelerinde arka grup veya harç besleme sistemleri olarak adlandırılan ekipmanlar Pomza bunkerleri ve tartım bandı, kum bantları, Pomza kırıcı ve bekleme bunkerleri, taşıyıcı kova, mikser ve platformu olarak sıralanabilir. Arka grup elemanları hammadde halindeki pomzayı üretime hazır hale getirmek için kullanılmaktadır.

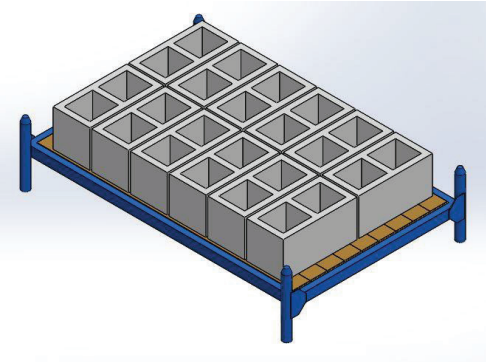


Şekil 5. Pomza Madeni[12]

Ana Makine ekipmanları ise palet sürücüler , ürün çıkış kayışı, kuru ve yaş ürün istifleme asansörleri, briket tamamlayıcı sistemler, forklift çatal açma mekanizması, toplama robotu, sevkiyat bant mekanizması, briket çevirme aparatı ve şeritleme Robotu olarak sıralanabilir. Ana Makine ekipmanları üretimi kolaylaştırmak, hızlandırmak ve üretimi otomatikleştirme odaklı olan sistemlerdir.

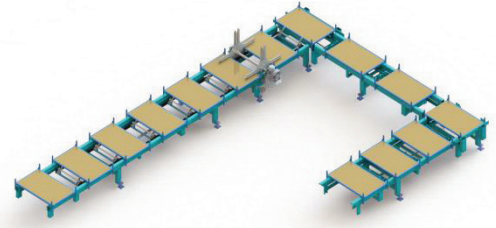
2.1 Palet Sürücüler

Briket makinelerinde üretilen ürünler tahta paletler üzerine basılmaktadır. Tahta paletler bir çevrimde üretilen briket adetine göre farklı boyutlarda üretilebilmektedir. Tahta paletler çıkış sonrası istifleme şekline göre ayaklı veya ayaksız olarak değişkenlik gösterebilir (Şekil 6.)



Şekil 6. Çift Ayaklı Tahta Palet Örneği

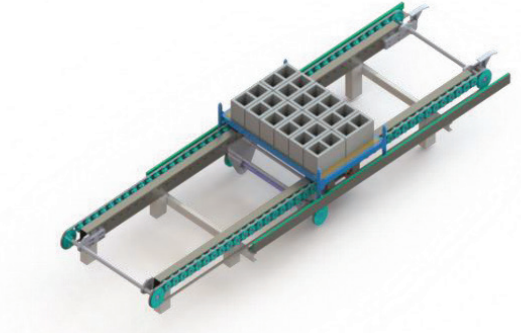
Palet sürücüler ise isminden de anlaşılacağı üzere briket makinesine palet beslemek için kullanılan ekipmandır. Palet sürücüler briket makinesinin kurulacağı tesis alanına ve çalışan sayısı gibi farklı şartlara bağlı olarak düz bir hat şeklinde, L palet ve U palet hattı olarak ihtiyaca göre üretimi yapılmaktadır. Üretim sahasına göre uzunlukları değişebilir. Plc kontrol sistemi ile çalışır (Şekil 7.).



Şekil 7. U palet hattı

2.2 Yaş Ürün Çıkış Kayışı

Briket makinelerinde ortalama 20 saniye bir baskı yapılmaktadır. Briket makinelerinde tahta paletlere ürün basımı yapıldıktan sonra 20 saniye gibi kısa sürede paletleri tek tek almak zor olacağı için tahta palet üzerine basılan briketler istiflenmek üzere ürün istif asansörüne iletilmektedir. Bu iletimi ise ürün çıkış kayışı adı verilen ekipman sayesinde yapılmaktadır. Ekipmanda farklı mekanik çeşitlerde kullanılabilir fakat kayışlı bir sistem tercih edilmesinin sebebi ise makineden çıkan ürünün yani pomzadan basılan briketin yaş olmasıdır. Yaş olan briketler hassastır zincir boşluğu gibi çeşitli sebeplerden dolayı hemen bozulabilmektedir. Bu yüzden ürün kayışlı sevkiyat sistemi kullanılmaktadır. Üretim sahasına göre uzunlukları değişebilir. Plc kontrol sistemi ile çalışır (Şekil 8.).



Şekil 8. Yaş Ürün Çıkış Kayışı

2.3 Kuru ve Yaş Ürün İstifleme Asansörleri

Yaş ürün istifleme asansörü ana makinenin ön kısmından çıkan yaş ürünlerin üst üste istiflenmesini ve kuruma alanına sevk etmeye hazır hale getirilmesini sağlayan ve ürün yüksekliğine göre raf aralığını otomatik olarak kendisi ayarlayan sistemdir. Plc kontrol sistemi ile çalışır.

Kuru ürün istifleme asansörü ise iklim şartlarına göre iki veya üç gün süreyle bekleyip kuruyan ürünleri toplama robotu ünitesine alınmasına ve boşalan paletlerin ters yüz edilerek tekrar makineyi beslemek amacıyla üst üste istiflenmesini sağlayan sistemdir. Plc kontrol sistemi ile çalışır (Şekil 9.).



Şekil 9. Kuru ve Yaş Ürün İstifleme Asansörleri

2.4 Ürün ve Palet Temizleme Fırçası

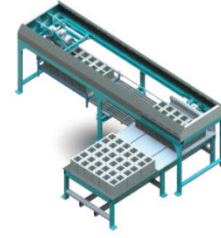
Ürün temizleme fırçası yaş ürünler üzerindeki fazla pomza artıklarının temizlenmesiyle ürünün daha kusursuz görünmesini sağlar. Ayrıca dönen fırça ise her bir periyotta boş paletlerin de temizlenmesini sağlar. Ürün temizleme fırçası makine çıkışında, palet temizleme fırçası ise boş paletlerin makineye girişinden önce kullanılır. Plc kontrol sistemi ile çalışır (Şekil 10.).



Şekil 10. Ürün ve Palet Temizleme Fırçası

2.5 Briket Tamamlama Sistemi

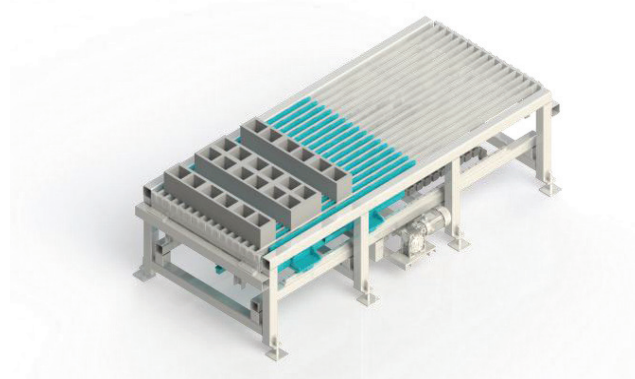
Kuru briketlerin (10,15,20,25 li ölçülerde) tahta üretim paleti üzerinden toplanarak biriktirildiği ve sevkiyat sırasında daha az yer kaplaması amacıyla kare bir toplama sağlayan sistemdir. Örneğin bir periyotta 20 lik briketten (200x400x190 mm) 12 briket üretimini 18 briketle tamamlayan sistemdir. Plc kontrol sistemi ile çalışır (Şekil 11.).



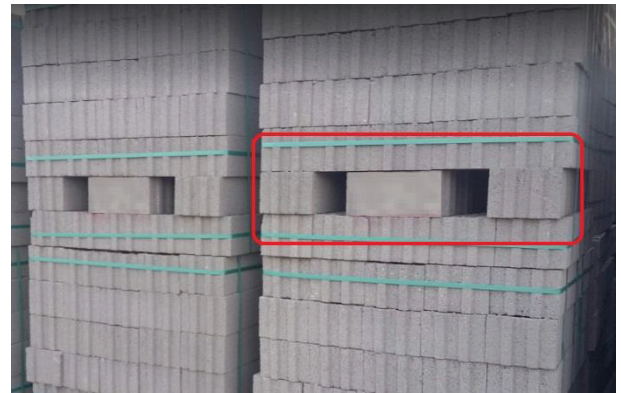
Şekil 11. Briket Tamamlama Sistemi

2.6 Forklift Çatal Açma Sistemi

Forklift çatal açma forklift bıçağı için ürün aralarında boşluklar bırakır. Briket genişliklerine göre briketler arası boşluğu otomatik ayıran sistemdir. Amaç ise briket nakliyesinde europalet maliyetini ve nakliyeden kazanç sağlamaktadır. Plc kontrol sistemi ile çalışır (Şekil 12.).



Şekil 12. Forklift Çatal Açma Sistemi



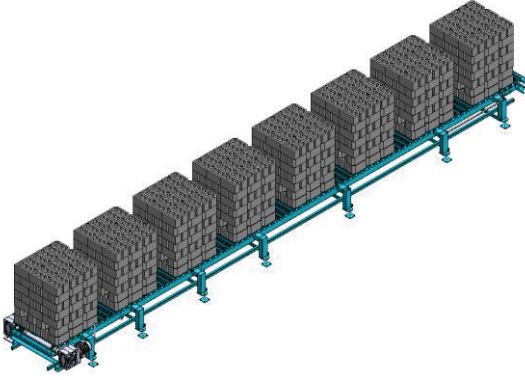
Şekil 13. Forklift Çatal Açma Sistemi ile İstiflenmiş Briket Örneği

Şekil 13'de gösterilen briketlerde dizildikten sonra şeritleme yapılmaktadır. Bu sayede briketler birbirinden ayrılmaz. Briket blokları ise nakliye ve taşıma sırasında kolaylık olması açısından şekilde görüldüğü gibi alttan 2.sıradan forkliftin tırnaklarını geçirip briket bloklarını kolayca kaldırabilmektedir.

Ve briketlerin doğrudan nakliyesi sağlanmaktadır. Plc kontrol sistemi ile çalışır.

2.7 Sevkiyat Bant Mekanizması

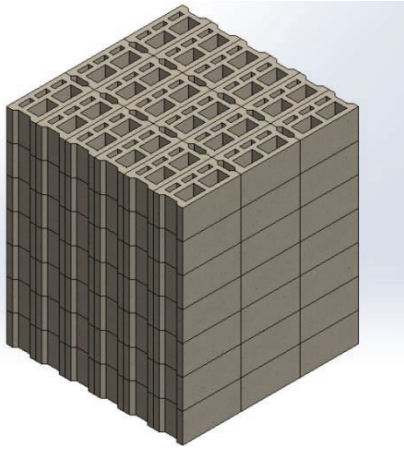
Ürünlerin, bant üzerine paletsiz (europaletsiz) dizildiği sevkiyat bandıdır. Briket bloklarının üst üste küp şekline getirdiği mekanizmadır. Bu bant, briketleri belirli aralıklarla taşıyıcı otomatik şeritleme sistemi adaptasyonuna uyumlu olacak şekildedir. Briketleri forkliftin alacağı mesafeye getirir. Müşteri ihtiyaçlarına göre bant uzunluk ölçüsü değişkenlik göstermektedir. Otomatik paketlemeye yöneliktir. Plc kontrol sistemi ile çalışır(Şekil 14.).



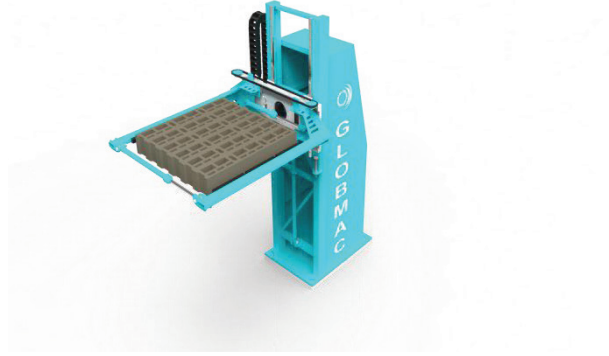
Şekil 14. Sevkiyat Bant Mekanizması

2.8 Briket Çevirme Robotu

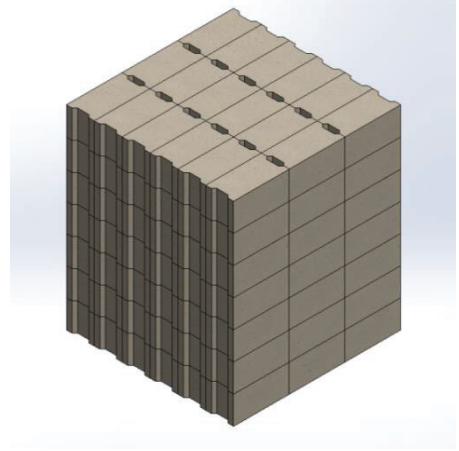
Ürünler, sevkiyat bandı üzerinde giderken en üst sıradaki briketleri ters çeviren sistemdir. Son sıradaki briketleri çevirmekteki amaç ise şeritlemeye uyumlu sistemlerde keskin briketlerin şeridi kesmesidir. Bunun için son sıradaki briketler ters çevrilir. Bu sistem otomatik paketlemeye yöneliktir. Plc kontrol sistemi ile çalışır(Şekil 15.),(Şekil 16.), (Şekil 17.).



Şekil 15. Çevrilmeden Önceki Briketler



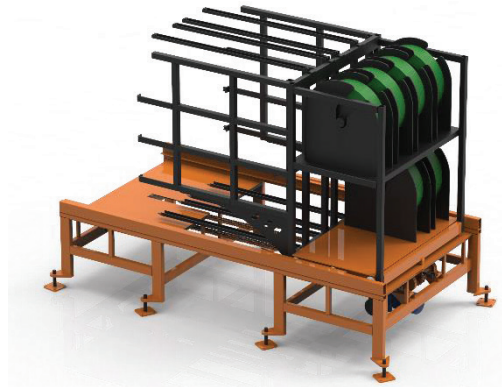
Şekil 16. Briket Çevirme Robotu



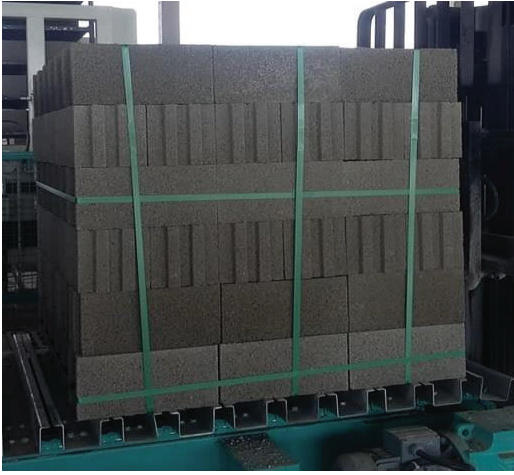
Şekil 17. Çevrildikten Sonra Briketler

2.9 Şeritleme Robotu

Sevkiyat bandı üzerinde giden briketleri şeritlemek için kullanılan sistemin adıdır. İsteğe bağlı yatay ve dikey şekilde şeritleme sağlar. Plc kontrol sistemi ile çalışır. Bu sistem otomatik paketlemeye yöneliktir(Şekil 18.), (Şekil 19.).



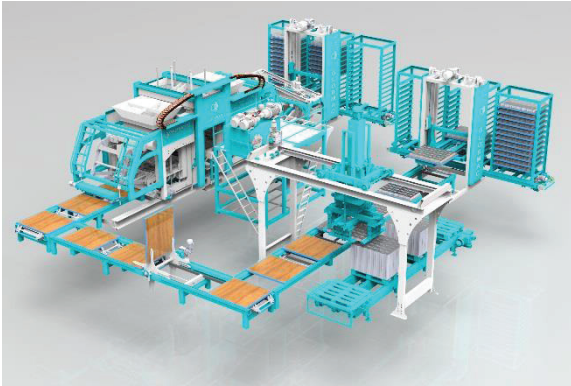
Şekil 18. Şeritleme Robotu



Şekil 19. Şeritlenmiş Briketler

3. TOPLAMA ROBOTU TASARIM SÜREÇLERİ

Stok sahasına alınmaya hazır hale gelmiş kuru ürünlerin, sevkiyat paleti ya da sevkiyat paletsiz (isteğe bağlı) dizilimini sağlayan sistemin adıdır. Toplama robotları makineye bağımlı veya makineden bağımsız şekilde olabilir (Şekil 20.).

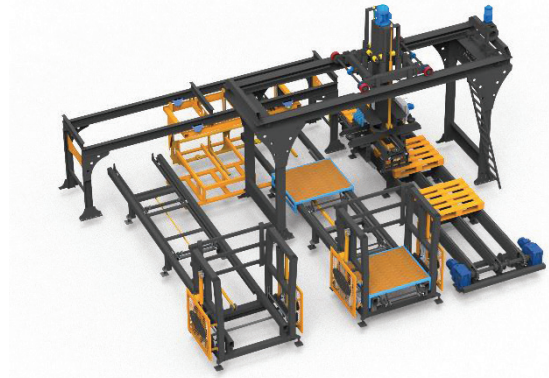


Şekil 20. Makineye Bağımlı Toplama Robot Örneği

Makineye bağımlı toplama robotları kuru ürün istif asansöründen tek tek makineye giden kurumuş ürünleri ve dolu üretim paletlerinin üzerindeki kurumuş ürünleri sevkiyat paleti üzerine üst üste istiflemek için kullanılır. Paketleme bitince sevkiyat bandı çalışır ve forkliftin alabilmesi için ileriye sürülür. Bu sayede kuru ürünler tekrar toplanmaya, paket veya şeritleme yapılmaya devam edilir. Bu sistem otomatik paketlemeye yöneliktir. Plc kontrol sistemi ile çalışır. Bu sistemde toplama robotu makine çevrimine yetişmek zorundadır aksi takdirde makineyi bekletmektedir (Şekil 21.).

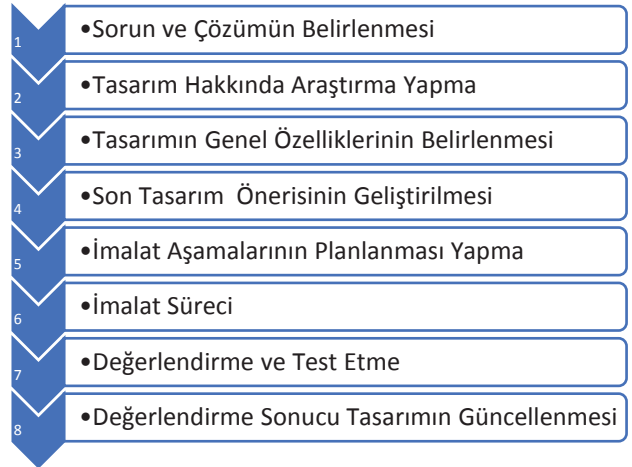
Makineden bağımsız toplama robotlarında toplama robotu makineden bağımsız çalışır. Bu sistemde toplama robotu makine çevrimine yetişmek zorunda değildir. Aksi takdirde makineyi

bekletmektedir. Alan sıkıntısı dışında mecbur kalınmadıkça pek fazla tercih edilmazler.



Şekil 21. Makineden Bağımsız Toplama Robot Örneği

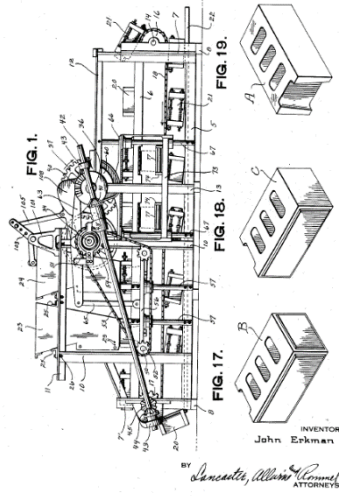
Bu bölümde toplama robotlarına genel bir bakış ve toplama robotların tasarım süreçlerinden bahsedilmiştir Genel olarak yapılacak bir tasarımda aşağıdaki süreçler takip edilir.



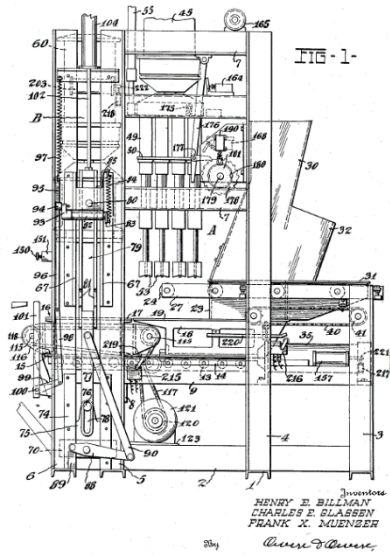
Bu süreçler doğrultusunda yapılan çalışmada toplama robotunun üç boyutlu tasarımı yapılmış ve tasarım detayları genel olarak incelenmiştir. İmalat ve test etme süreci gerçekleştirilmemiştir.

3.1 Briket Makineleri ve Toplama Robotlarının Geçmişten Günümüze Gelişimi

Tarımsal ve ahşap atık malzemelerini akaryakıt malzemesi olarak kullanılacak briketler halinde sıkıştırabilecek uygun bir makinenin tasarlanması ve sunulması, bu nedenle çevresel kaynakların korunması sorununa çözüm olacağı düşünülmüştür. Makinenin tasarımı, sürgü-krank mekanizmasının dahil edilmesiyle hidrolik prensiplere dayanmaktadır. Geliştirilen çeşitli makineler şekil 22 [13], şekil 23 [14] ve şekil 24' te [15] gösterilmiştir.[15]

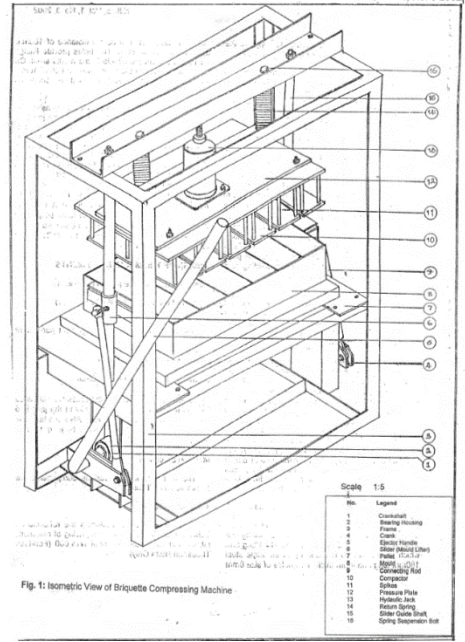


Şekil 22. 1932 Yılında J.Erkman Tarafından Tasarlanmış Makine Örneği [13]



Şekil 23. 1932 Yılında J.Erkman Tarafından Tasarlanmış Makine Örneği [14]

Tarih boyunca farklı makina grupları için, farklı ebatlardaki taş veya briketleri toplamak için iş gücünden kazanç, üretimi standartlaştırma ve hızlandırma amaçlı çeşitli ölçülerde ve ebatlarda manuel veya otomatik toplama robotları yapılmıştır. Toplama robotu sayesinde kurumuş ürünleri toplamak için personel ihtiyacı ortadan kaldırılır. Toplama robotu kuruma sahasındaki forklift maliyetini de azaltmaktadır. Şekil 25., Şekil 26. ve Şekil 27.'de farklı zamanlarda yapılan çeşitli toplama robotu örneklerine yer verilmiştir.



Şekil 24. 2002 Yılında Inegbenebor Tarafından Tasarlanmış Makine Örneği [15]



Şekil 25. Geçmiş Yıllarda Yapılmış Toplama Robotu Örneği[16]

3.2 Toplama Robotunu Tasarımı ve Genel Özelliklerinin Belirlenmesi

Toplama Robotları genel olarak 2 eksende çalışan robotlardır. 1. eksen bir şase üzerinde robotun ileri geri hareketi, 2. eksen ise briketleri kavrayan ve sıkın çenenin yukarı aşağı hareketidir. Briket makineleri genel olarak müşterinin alanı ve ihtiyaçlarına doğrultusunda oluşturulmuş için toplama robotlarının tasarımı da genel olarak makinelere göre değişiklik göstermektedir. Farklı ölçülerde ve ebatlarda briketleri istifleme ihtiyacı müşteri özelinde oluşmaktadır. Bu makalede bir çevrimde 12 ve 18 briket üreten makine

için bir toplama robotu tasarımı yapılacaktır. Tasarım SolidWorks programında 3 boyutlu olarak tasarlanmıştır. Şekil 28.'de tasarlanan toplama robotunun genel olarak bölümleri belirtilmiştir.

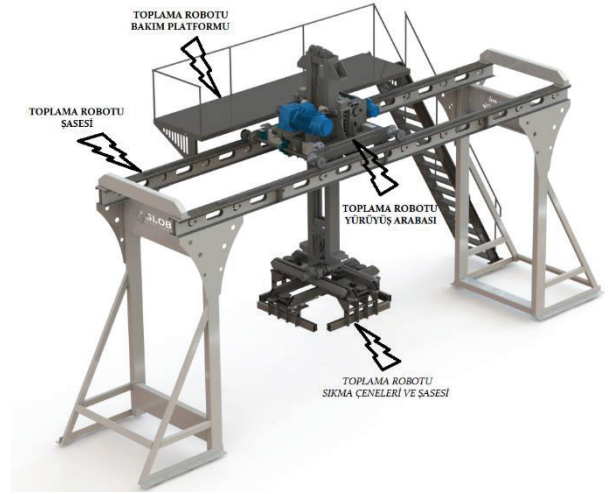
Toplama robotlarında yukarıdaki şekilden anlaşılacağı üzere toplama robotu şasesi, toplama robotu yürüyüş arabası ve sıkma çenelerinden oluşmaktadır. Bu bölümlerden genel olarak bahsedilecektir.



Şekil 26. Geçmiş Yıllarda Yapılmış Toplama Robotu Örneği [17]



Şekil 27. Yakın Geçmişte Yapılmış Toplama Robotu Örneği [18]

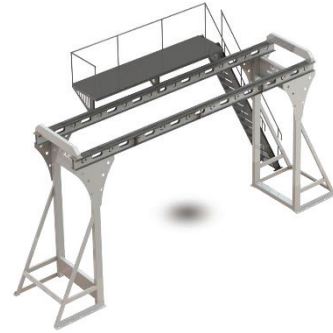


Şekil 28. Toplama Robotunun Genel Bölümleri

4. TOPLAMA ROBOTU TASARIMI

4.1 Toplama Robotunu Şasesi

Toplama robotu şasesi yürüyüş arabasını ileri geri hareket etmesine olanak sağlar. Robotun yürüyüş arabası için bir şase aynı zamanda robotun yere basan ve dengesini sağlayan şasedir. Toplama robotu şasesi farklı şekillerde tasarlanabilmektedir. Şase uzunluğu tesisteki forklift çatal açma sisteminin varlığına göre değişiklik göstermektedir. Tesiste forklift çatal açma sistemi yok ise robot 2 pozisyonda, forklift çatal açma sistemi var ise robot 3 pozisyonda çalışması gerekir. Şase uzunluğu buna bağlı olarak değişmektedir (Şekil 29.).



Şekil 29. Toplama Robotu Şasesi

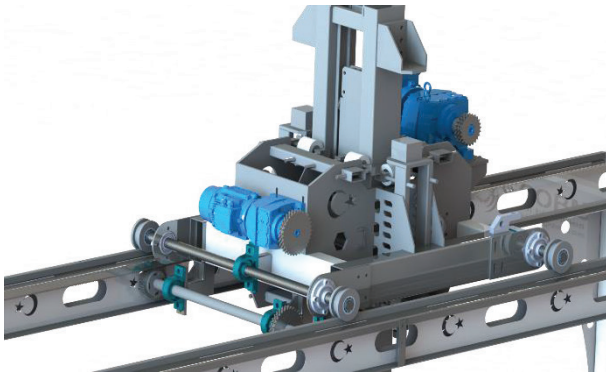
Şase genişliği ise toplanacak briketlerin genişliklerine göre tasarlanması gerekmektedir. Briket makinelerinde ürünler nakliye sırasında kolaylık ve tasarruf sağlamak için kare şeklinde istiflenirler. 12 ve 18li briket makinelerinde, basılan briket boyutları değişiklik göstermektedir fakat yaklaşık olarak 1200mm x 1200 mm şeklinde istiflenir. Toplama

robotunun şasesinde çene kısmının bu ölçüleri sıkabilecek şekilde ve yürüyüş arabasının yürüyüş hızlarına ve çene sıkma ağırlıkları göz önünde bulundurularak ve gerekli analizler yapılarak uygun mekanik sağlamlığını ve dengesini bozmayacak şekilde tasarlanmıştır.

Toplama robot şasesinde ve yürüyüş arabasındaki bakım ve arıza durumlarında kolaylık sağlaması amacıyla yan taraflarına her alan ve yerleşime göre her iki yöne de koyulabilecek şekilde demonte bir platform tasarlanmıştır.

4.2 Toplama Robotu Yürüyüş Arabası

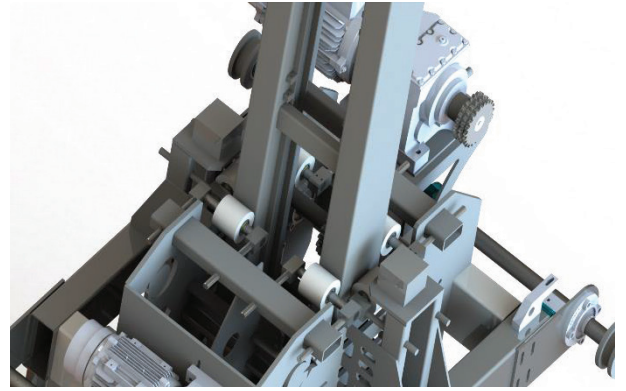
Toplama robotu yürüyüş arabası robotun ileri-geri hareketini sağlar. Briket makinesi çevrim süresi yaklaşık olarak 15-25 sn arasında değişmektedir. Tasarlanan toplama robotu bu çevrim süresinden önce tüm hareketlerini tamamlayarak palet üzerinde hazır bir pozisyonda beklemesi gerekmektedir. Toplama robotu yürüyüş arabası ileri-geri yaklaşık olarak 4800 mm hareket etmektedir. Şasenin hareketi için robot şasesi üzerinde kare teker yolu ve yürüyüş arabası üzerinde 4 adet iç kısımları rulmanlı rahat dönebilecek şekilde yuvarlanma hareketi yapan tekerlekler bulunmaktadır. Aynı zamanda robot şasesi üzerinde iki adet kramayer bulunmaktadır. Kramayerde hareket edecek olan pinyon dişli yürüyüş arabası üzerinde ve zamanla yürüyüş tekerlerindeki aşınmalar sonrası ayarlanabilir şekilde tasarlanmıştır. Makine çevrimine yetişmesi için uygun olarak redüktörlü motor ve dişli seçimi yapılmıştır. Yürüyüş arabasının ileri-geri hareketinde hız ayarı ve yumuşak kalkış yumuşak duruşlar yapılabilmesi için motor kontrolü sürücü olacak şekilde tasarlanmıştır. İleri-geri hareket için lazer sensör kullanılacaktır. Olası bir arıza durumunda veya elektriksel problemlerde ileri-geri pozisyonlarında durdurucu olarak mekanik dayamalar tasarlanmıştır (Şekil 30.).



Şekil 30. Yürüyüş Arabası İleri-Geri Hareketi

Toplama robotu arabası aynı zamanda sıkma çene şasesine yukarı-aşağı ekseninde hareket etmesi için yataklama görevi yapmaktadır. Çenelerin yukarı-aşağı hareket strokları üst üste istiflenecek briket sayısına

göre belirlenmektedir. Çene sıkımların yukarı aşağı hareketinde genellikle hidrolik sistemler tercih edilir. Fakat yapılan tasarımda yukarı-aşağı hareket tahrik şekli olarak redüktörlü motor olacak şekilde tasarlanmıştır. Bunun sebebi ise hidrolik sistemlerin daha pahalı ve bakımlarının zor olmasıdır. Yağ kaçakları ve hidrolik tesisat çekim zorlukları göz önünde bulundurularak redüktörlü motor tercih edilmiştir. Hareket zincir dişlileri iletilmektedir. Makine çevrimine yetişmesi için uygun olarak redüktörlü motor ve dişli seçimi yapılmıştır. Yukarı-aşağı harekette yataklama için rulmanlı kestamit malzemeden yapılmış dayama tekerleri kullanılmıştır. Yürüyüş arabasının yukarı-aşağı hareketinde hız ayarı ve yumuşak kalkış yumuşak duruşlar yapılabilmesi için motor kontrolü sürücü olacak şekilde tasarlanmıştır. Yukarı-aşağı hareket için lazer sensör kullanılacaktır. Olası bir arıza durumunda veya elektriksel problemlerde yukarı-aşağı pozisyonlarında durdurucu olarak mekanik dayamalar tasarlanmıştır (Şekil 31.).



Şekil 31. Yürüyüş Arabası Yukarı-Aşağı Hareketi

4.3 Toplama Robotu Sıkma Çeneleri ve Şasesi

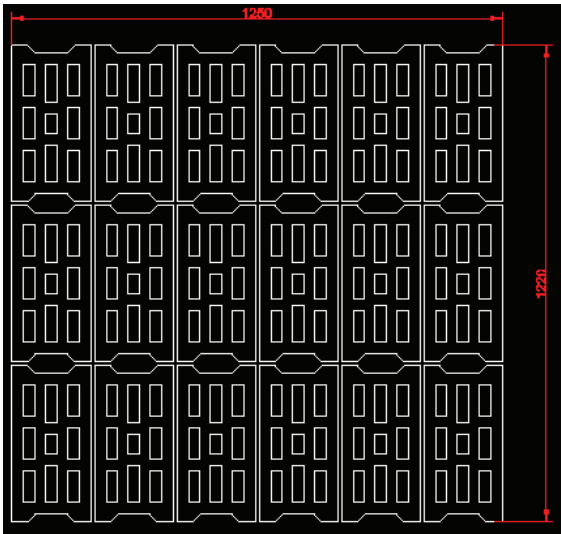
Briket makinelerinde briketler makineden çıktıklarında kalıp duvarlarından dolayı briketler arası 2 ekseninde boşluklu şekilde çıkarlar. 12li briket makinelerinde kare bir istifleme elde etmek için briketler tamamlayıcı sistemden geçerek 18 brikete tamamlanır. Bu durumlarda boşluk tek ekseninde meydana gelir (Şekil 32.).

Briketleri toplarken bu boşluklar toplama robotunun sıkma çeneleri sayesinde sıkılarak toplanır ve üst üste istiflenir. Toplama robotu sıkma çeneleri briketleri 2 ekseninde sıkarak 4 adet çeneden oluşur.

Örneğin bir çevrimde 18 briket basan bir makine yani 18li briket makinesi 190x390x190(genişlik x uzunluk x yükseklik) boyutlarında toplam 18 adet briket toplanması gerekmektedir. Toplanacak ürün dış ölçüleri aşağıda gösterilmiştir(Şekil 33.).

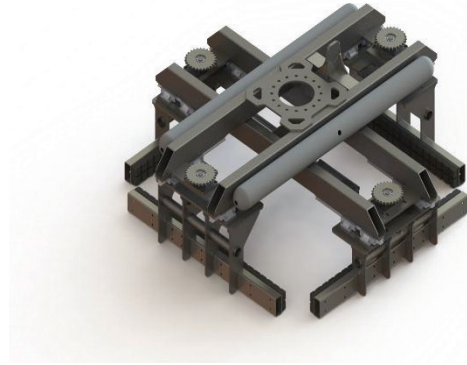


Şekil 32. Briketlerin Makineden Çıkış Halleri



Şekil 33. 18li Briket Makinesinde Bir Çevrimde Çıkan Briketler Ölçüleri

Toplama robotu sıkma çenelerinin açılım mesafeleri briketlerin genişlikleri göz önünde bulundurularak ve briketleri içine alacak şekilde ve gerekli paylar verilerek hesaplanır. Toplama robotu sıkma çenelerinin tasarımı farklı şekillerde ve mekaniklerde yapılabilir. Çene sıkma hareketlerini yapabilmek için yataklama ve çeneleri hareket ettirmek için bir tahrik sistemi gereklidir. Karşılıklı çenelerin eşit ve dengeli çalışması için ise ayrıca bir dengeleme sistemi olması gerekir. Aksi takdirde çene sıkımları briketleri merkezli sıkmayacaktır. Bu tahrik sistemi piyasada genel olarak hidrolik yapılmaktadır. Fakat çalışmamızda ve projemizde sıkma çeneleri farklı şekilde tasarlanmıştır. Şekil 34.'de tasarlanan robot sıkma çeneleri görülmektedir.



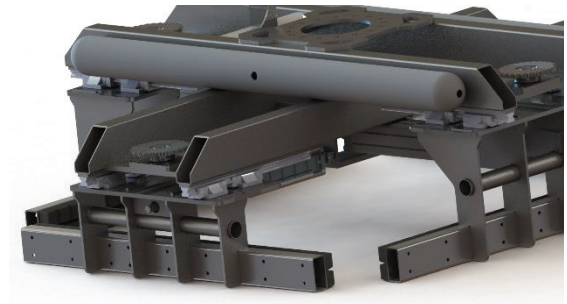
Şekil 34. Toplama Robotu Sıkma Çeneleri Ve 3d Görünümü

Toplama robotu sıkma çenelerini yataklamak için lineer kızaklar kullanılmıştır (Şekil 35.).



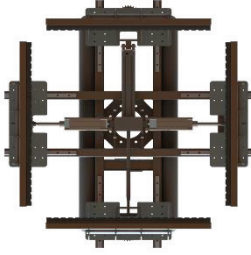
Şekil 35. Lineer Ray ve Arabaları [19]

Lineer ray arabalar doğrusal bir düzlem üzerinde hareket edilmesini sağlayan makine ekipmanlarıdır. Lineer ray ve lineer arabalar birbiriyle etkileşimli olarak çalışmaktadır. Lineer araba üzerinde yataklanan 4 miskalet yardımı ile lineer ray üzerine sabitlenerek aşağı-yukarı, ileri-geri hareket işlemleri gerçekleştirilmektedir.[20] Bu kızaklarda ağır yük söz konusu ise temel olarak makara yuvarlanma elemanı kullanılır(Şekil 36.), [21].



Şekil 36. Sıkma Çeneleri Yataklama Tasarımı

Karşılıklı iki çenenin dengeli ve eşit bir şekilde kapanması sağlamak için ise dengeleme sistemi olarak zincir bağlantısı tercih edilmiştir. Karşılıklı iki çenenin sıkma işlemi için hidrolik sistemlerin pahalı ve bakım zorluklarından gözönünde bulundurularak gerekli hesaplamalar yapılmış ve sıkma çeneleri için pnömatik pistonlar tercih edilmiştir. Çene açılım mesafelerindeki ayarlar için pnömatik piston uçlarına ayar yapabilmeye olanak sağlayacak şekilde parçalar tasarlanmıştır (Şekil 37.).



Şekil 37. Sıkma Çeneleri Pnömatik Piston Tasarımı

SONUÇ

Bu çalışmada genel haliyle briket makineleri ve ekipmanları hakkında bilgiler verilmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda geçmişten günümüze robotların tasarım aşamaları incelenmiş ve şuan ki teknolojiyle tasarlanmış robotlar göz önünde bulundurulmuştur. Yapılan çalışmalar sonucu briket makinelerinde briketleri toplamak ve üst üste istiflemek için toplama robotu tasarımı genel olarak anlatılmış ve tasarlanmıştır. Gerekli arge çalışmaları ve testler sonucu tasarım güncellenip imalat aşamasına geçilecektir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Globmac | AsBlock Makina firmasında yapılmıştır. Desteklerini ve emeklerini esirgemeyen değerli firma sahiplerine ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

DESİGN OF ELECTROMECHANICAL AND PNEUMATIC PICKING ROBOT FOR BRIQUETTING MACHINES

The need for briquette machines is increasing day by day in line with the increasing labor costs and production speed needs of our country. The briquette machines have been shaped as collection robots that transfer the prepared briquettes from the production pallets to the pallets and make them ready for stock or transportation. The collection robots provide the arrangement of dry products ready to be taken to the stock area. In this study, firstly literature review about briquette machines and equipments is done. Then,

considering these principles and working logic, the design of the collecting robot which is suitable for electromechanical structure and which contains pneumatic clamping jaws is explained in stages.

Keywords: briquetting machines, electromechanical, pneumatic, industrial design

KAYNAKÇA

1. (http://www.globmac.com/kalip_ve_kapasite/blocks,20_Ekim_2018'te_erisildi.)
2. Rodrigues F. A., Joekes I., (2011). Cement industry: sustainability, challenges and perspectives. *Environmental Chemistry Letters*, 9(2), 151-166.
3. Sébaibi Y., Dheilly R. M., Quéneudec M., (2004). A study of the viscosity of lime-cement paste: influence of the physico-chemical characteristics of lime. *Construction and Building Materials*, 18(9), 653-660.
4. Robery P., Shaw M. J., (1997). Materials for the repair and protection of concrete. *Construction and building materials*, 11(5-6), 275-281.
5. Mosuera M., Beni tez D. , Perry S. H. , (2002). Pore structure in mortars applied on restoration: Effect on properties relevant to decay of granite buildings. *Cement and concrete research*, 32(12), 1883-1888.
6. Yildirim S. T., Kiraz E., (2013). Investigation of binders composition and curing condition of masonry samples with fly ash and expanded perlite. *Cement Wapno Beton* 18.80, nr 3: 169-177.
7. Keskin F. Ş., Yildirim S. T., (2016). Investigation of Utilization of Perlite and Bottom Ash for the Insulation Mortar by Using Design of Experiment via Taguchi Method. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 3(1).
8. Uluer O., Karaağaç İ., Aktaş M., Durmuş G., Ağbulut Ü., Khanlari A., Çelik D. N., (2018). Genleştirilmiş perlitin ısı yalıtım teknolojilerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 24(1).
9. Topçu İ. B., Işıkdag B., (2008). Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. *Journal of materials processing technology*, 204(1-3), 34-38.
10. Turhan Ş., Gündüz L., (2008). Determination of specific activity of 226Ra, 232Th and 40K for assessment of radiation hazards from Turkish pumice samples. *Journal of environmental radioactivity*, 99(2), 332-342
11. Salih Taner YILDIRIM, Erman BABA(2018) Bims Agregalı ve Genleştirilmiş Perlit Agregalı Hafif Kompozit Harçların Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi Experimental Investigation on Properties of Lightweight Composite Mortars with Pumice and Expanded Perlite Aggregates - Koc. Üni. Fen Bil. Der., 1(1): (2018) 47-52

12. (<http://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/pomza>.1 Kasım 2018'te erişildi.)
13. John Erkman, Peru, Ind. (1932). CONCRETE BLOCK MACHINE Application April 27, 1932, serial No. 60,854 12 Claims (C. 25-100)
14. Henry E. Billman and Charles E. Glassen, St. Louis, Mo., and Frank X. Muenzer, Elmore, Ohio, assignors to The Multiplex Concrete Machinery Company, Elmore, Ohio, a Corporation of Ohio CONCRETE BLOCK MACHINE Application January 9, 1942, Serial No. 426,102 26 Claims. (C. 25-41)
15. A. Ö. Inegbenebor (2002). Development Of A Briquette Compressing Machine. NJISS, Vol.1; No.3
16. (<https://www.ikincielim.com/iel/Resim?Resimno=1504587> , 11 Aralık'ta erişildi.)
17.](<http://hiramacnabi.wixsite.com/hiramass?lightbox=image1w6v> ,11 Aralık'ta erişildi.)
18. (<https://www.youtube.com/watch?v=cBa60A7f5No>, 11 Aralık'ta erişildi.)
19. (<http://www.birlikrulman.com/markalar.asp?islem=detay&ID=2>, 13 Kasım 2018'de erişildi.)
20. (<https://www.sahinrulman.com/ray-ve-arabalar/>, 16 Kasım 2018 'de erişildi.)
21. (<http://web.itu.edu.tr/temizv/Sunular/Lineer%20yataklar.pdf>, 9 Aralık 2018'de erişildi.)

Alüminyum Ekstrüzyonu Üzerine Sayısal ve Deneysel Bir İnceleme

Hakan Kalkan
Dr.

ATILIM Üniversitesi
İmalat Mühendisliği Bölümü
Ankara

Bu çalışmada endüstriyel boyutta alüminyum ekstrüzyon işlemi nümerik ve deneysel olarak incelenmiştir. Proses parametreleri ve kalıp geometrisi ASAŞ Alüminyum tarafından sağlanmış ve model Sonlu Elemanlar ve Sonlu Hacimler yöntemlerine dayalı farklı yazılım paketlerinde hazırlanmıştır. Gerekli malzeme karakterizasyonu Al 6082 malzeme için tek eksenli basma deneyiyle elde edilmiş ve bu test için yüksek sıcaklıklarda da kullanılabilen bir test düzeneği geliştirilip imal edilmiştir. Ölçülen kuvvet-yer değiştirme ve çıkış sıcaklığı ile ilgili grafikler nümerik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. İlaveten Sonlu Elemanlar ve Sonlu Hacimler yöntemleri de kendi içlerinde karşılaştırılmışlardır. Bu sonuçlar göstermiştir ki, doğru malzeme karakterizasyonu ile Sonlu Elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar gerçek işlemlerde ölçülen değerlere yakın çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Alüminyum Ekstrüzyon, Sonlu Elemanlar Yöntemi, Sonlu Hacimler Yöntemi, Tek Eksenli Basma Testi.

1. GİRİŞ

Ekstrüzyon işlemi blok metalin yüksek basınçla bir kalıptan geçirilerek kalıp şekline bağlı kesitler elde edilen metal şekillendirme işlemidir [1]. Dairesel kütük malzeme kovan içerisine yerleştirildikten sonra zımbanın kütüğü kalıptan geçirmesi ile sabit kesit alanlı profiller elde edilebilir. Malzeme olarak alüminyum, bakır, paslanmaz çelik ve değişik plastik malzemeler kullanılabilir. Alüminyum yüksek süneklik özelliğine sahip olduğundan ekstrüzyon işlemlerinde en yaygın kullanılan malzemelerdendir.

Ekstrüzyon işleminden dairesele kütük, kovana yerleştirilerek kalıp kesiti ile merkezlenir. Zımbanın kütüğü kalıp içine ittirilmesiyle kalıp içinden geçen malzeme sabit kesitli profillere dönüşür. Kalıp çıkış hızı profil şekline etki eden önemli bir parametre olduğu için, zımba hızı ile dengelenmelidir.

Ekstrüzyon işlemi akma mukavemetini düşürmek için genellikle yüksek sıcaklıklarda yapılır ancak bazı durumlarda soğuk olarak da yapılabilir. Akma mukavemetinin düşmesiyle yüksek oranda kesit daralması sağlanır işlem zamanı kısalır ve enerji gereksinimleri düşer.

Genelde ekstrüzyon işleminde ön ısıtma yapılmış kütükler işlem boyunca sabit zımba hızıyla kullanılır. Ön ısıtma aynı zamanda yüzey hatalarını önlemek içinde yapılır.

Ekstrüzyon işleminde mekanik enerjinin büyük bir kısmı ısıya dönüşür, az bir kısmı ise iş parçası tarafından tutulur. İş parçasının kalıpta hareketi sonucu kalıp-iş parçası ara yüzeyinde oluşan sürtünme bu bölgede sıcaklığın artmasına neden olur. Sıcaklık artışının elde edilen ürünün mikro yapısını, mekanik özelliklerini ve boyutsal toleransları etkilediği bilinmektedir [2]. Bu yüzden oluşabilecek maksimum sıcaklık artışının önceden tahmin edilmesi önemlidir. İşlem boyunca çıkış sıcaklığının ve çıkış basıncının sabit olması izotermal ekstrüzyon işlemi olarak adlandırılır. Eğer işlem izotermal şartlarda yapılırsa, sıcaklık artışı engellenerek yüksek kaliteli ürünler elde edilebilir. Ayrıca, izotermal durum yüzey hatalarının ve boyutsal tolerans problemlerinin en aza indirilmesinde çok etkilidir.

Ekstrüzyon işleminde kütüğün zımba ile aynı yönde akıtıldığı direkt ekstrüzyon ve kütüğün zımba yönünün tersine akıtıldığı indirekt ekstrüzyon olmak üzere 2 ana yöntem vardır [2].

Ekstrüzyon kalıpları çıkan profilin türüne tek çıkışlı, çoklu çıkışlı ve içi boşluklu gibi değişik şekillerde sınıflandırılabilir.



Şekil 1. Ekstrüzyon Kalıp Örnekleri.

Pratikte kalıp tasarımı deneme yanılma yöntemi ile yapılmaktadır. Bu yüzden kalıp tasarımında tasarımcının deneyimi önemlidir. İstenilen ürün profilinin karmaşıklığına göre tasarım aşamasında kalıplara bir kaç defa düzeltme gerekebilir. Bu yüzden genellikle kullanılan deneme yanılma yöntemi iş gücü hammadde ve diğer giderlerden dolayı maliyetli bir yöntemdir.

Genellikle sonlu elemanlar yönteminin kullanıldığı nümerik yöntemler farklı ekstrüzyon senaryolarının uygulanmasıyla deneme yanılma yöntemine alternatif olarak kullanılmaya başlamıştır. Kullanılan bu nümerik yöntemler sayesinde şekillendirme işlemi optimize edilerek zaman ve maliyet bakımında kazanç elde edilebilir.

Ekstrüzyon işlemi ile ilgili geçmiş yıllarda önemli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan ekstrüzyon işlemi için gerekli minimum enerjinin araştırılması bu konudaki ilk yapılan çalışmalardandır [3]. Sürtünme gibi bazı parametrelerin ihmal edildiği çalışmada ise işlem boyunca oluşan basınç ve akış miktarı hesaplanmaya yöneliktir [4]. Sonraki yıllarda gelişen bilgisayar teknolojisi ile 3 boyutlu analizlerin yapılması mümkün hale gelmiştir. Ekstrüzyon işlemindeki parametrelerin malzeme akışına, sıcaklık değişimine olan etkileri incelenmiştir [5]. Yapılan çalışmalarda "Sonlu Elemanlar" yönteminin yanın da "Sonlu Hacimler" yöntemi de kullanılmıştır. Daha çok akışkanlar mekaniği konularında kullanılan bu yöntem özellikle daha karmaşık kalıp geometrileri için alternatif olmuştur [6].

Bu çalışma ile alüminyum ekstrüzyonu üzerine deneysel ve nümerik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmada yüksek sıcaklıklarda malzeme karakterizasyonu tasarlanan tek yönlü basma test düzeneğiyle yapılmıştır. Bu testlerden elde edilen veriler hem sonlu elemanlar hem de sonlu hacimler

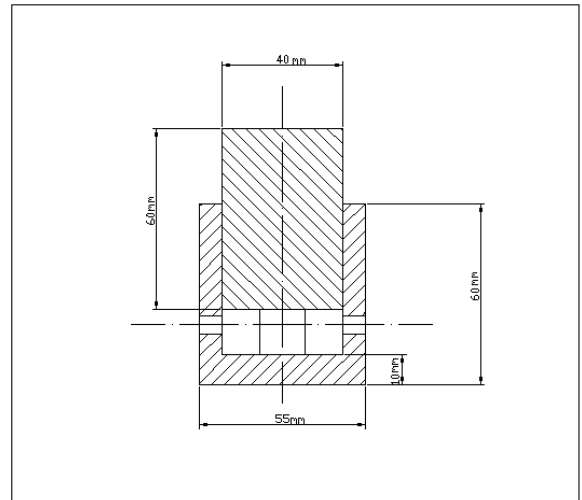
yöntemli yazılımlarda kullanılmış ve elde edilen basınç-yer değiştirme ve sıcaklık ölçümleri karşılaştırılmıştır.

2. MALZEME KARAKTERİZASYONU

Tek yönlü basma testi metal şekillendirme işlemlerinde yaygınlıkla kullanılan malzeme karakterizasyon testlerindedir. Ekstrüzyon işleminde oluşan kesit daralmasından dolayı yüksek gerilmeler oluşmaktadır. Yüksek orandaki şekillendirme işlemlerinde akma gerilmesini düşürmek için işlem yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Bu nedenle malzeme karakterizasyon testleri de işlem sıcaklığına uygun yüksek sıcaklıklarda yapılmıştır.

2.1 Tek Yönlü Basma Testlerinin Yapılması

Asaş Alüminyum tarafından elde edilen deney sonuçları neticesinde basma testlerinin 450°C , 500°C ve 550°C olmasına karar verilmiştir. Şekil 2 de görülen sıcak iş çeliğinden imal edilmiş kalıp yüksek sıcaklıklarda basma testi için imal edilmiştir.

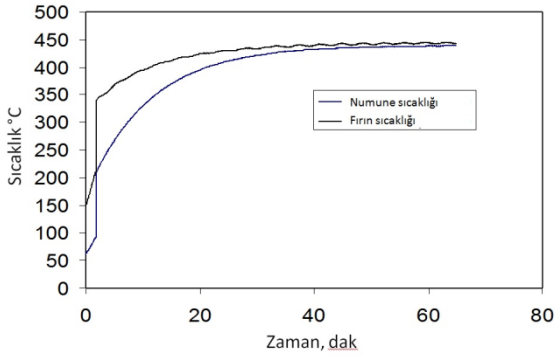


Şekil 2. Basma Testi Kalıp Kesit Görüntüsü.

Basma testlerinde 15 mm çapında ve 15 mm yüksekliğinde numuneler kullanılmıştır. Test esnasında ısı kaybını en aza indirmek için numune basma test kalıbı ile birlikte fırın içerisinde ısıtılmıştır. Test esnasında kalıp-numune ara yüzeylerinde oluşacak sürtünmenin azaltılması için bu yüzeylerde yüksek sıcaklıklara dayanıklı grafit esaslı yağlayıcı kullanılmıştır.

Basma testleri için belirlenen sıcaklıklara kadar numunelerin ısıtılması için bazı denemeler yapılmıştır. Bu denemelerde fırın sıcaklığı ve kalıp içerisindeki numune sıcaklığı ayrı ayrı ölçülmüştür. Sıcaklık ölçümleri için K tipi termokuppler kullanılmıştır.

Sonuçlar Datataker DT-85 veri toplama cihazı ile bilgisayarda kaydedilmiştir. Fırın 450 °C'de ayarlandığında 60 dakika boyunca alınan ölçüm grafikleri Şekil 3'de görülmektedir.



Şekil 3. 450 °C'deki sıcaklık ölçümleri

Bu ölçümler sonucunda 60 dakikalık ısıtma süresince fırın sıcaklığı ve kalıp içindeki numune sıcaklığı 450 °C mertebesine çıkmaktadır. Tablo 1'de her 3 test sıcaklığı için elde edilen sonuçlar görülebilir.

Tablo 1: Sıcaklık -Zaman Ölçümleri

Fırın Sıcaklığı	Isıtma Süresi	Ölçülen Fırın Sıcaklığı	Ölçülen Numune Sıcaklığı
450 °C	60 dk	446 °C	439 °C
500 °C	60 dk	498 °C	483 °C
550 °C	60 dk	549 °C	540 °C

Burada elde edilen sonuçlar "Sonlu elemanlar" ve "Sonlu hacimler" yöntemi kullanan analiz programlarında kullanılacağı düşünülürse sıcaklıkların yakın mertebede olması problem olmayacaktır.

Isıtma işlemi tamamlandıktan sonra fırın içerisinde ısıtılmış basma kalıp seti Zwick/Roell basma test cihazına her defasında 2 saniye içinde taşınarak testler gerçekleştirilmiştir.

2.2 Akma Eğrilerinin Elde Edilmesi:

Belirlenen her sıcaklık için 3 test olmak üzere toplamda 9 ayrı basma testi yapılmıştır. Bu testlerden kuvvet- basma mesafesi grafikleri elde edilmiştir. Yapılan testlerden elde edilen sonuçlara ilişkin örnek değerler Tablo 2'de görülebilir.

Burada h_0 test numunesinin başlangıç boyu, $h_{(u)}$ ise test esnasındaki anlık boyudur. Elde edilen veriler kullanılarak Al 6082 malzeme için aşağıdaki formüller yardımıyla akma eğrileri elde edilebilir.

$$\text{Gerçek gerinim: } \varepsilon_{(u)} = \ln \left(\frac{h_u}{h_0} \right)$$

$$\text{Gerçek gerilme: } \sigma_{f(u)} = \frac{F}{A_{(u)}}$$

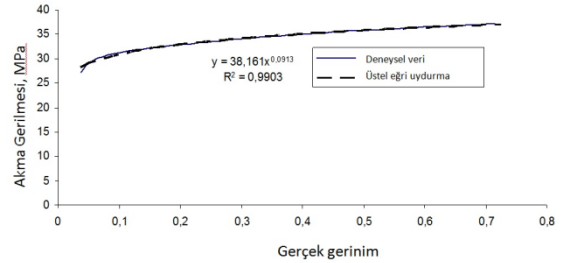
$$\text{Mühendislik gerinmesi: } \varepsilon_E = \frac{h_{(u)} - h_0}{h_0}$$

$$\text{Mühendislik gerilmesi: } \sigma_E = \frac{F}{A_0}$$

Bu eşitlikler yardımıyla elde edilen gerçek gerilme-gerçek gerinme grafikleri $y = ax^b$ formunda bir eşitlik ile ifade edilerek malzemenin plastik bölgesine ait davranış modelleri olacaktır.

Tablo 2: 450 °C 'de Basma Test Sonuçları

Mesafe	Kuvvet	h_0	$h_{(u)}$	A_0	A
mm	N	mm	mm	mm ²	mm ²
0.100237	153.574	15	14.8997	176.717	177.903
0.219866	1056.82	15	14.7801	176.717	179.343
0.323382	2944.82	15	14.6766	176.717	180.608
0.432391	4300.82	15	14.5676	176.717	181.959
0.558245	5001.82	15	14.4417	176.717	183.545
0.686907	5318.82	15	14.3130	176.717	185.195
0.81386	5526.82	15	14.1861	176.717	186.852
0.939593	5674.57	15	14.0604	176.717	188.523
1.06398	5794.95	15	13.9360	176.717	190.206
1.18727	5903.7	15	13.8127	176.717	191.904

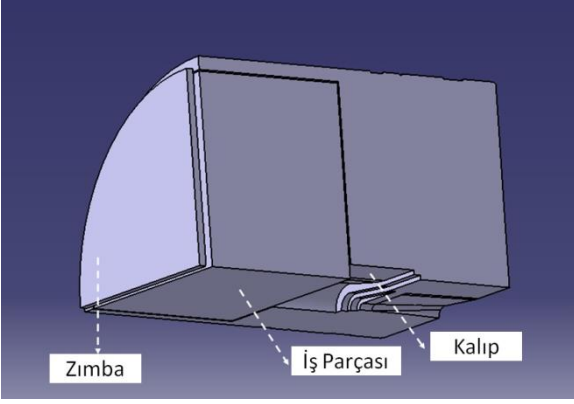


Şekil 4: Al 6082 malzeme için 450 °C'de elde edilen akma eğrisi.

3. PROSES SİMULASYONU VE SONUÇLAR

3.1 Geometri:

Asaş Alüminyum tarafından kullanılan ekstrüzyon kalıbı Şekil 5'de görülmektedir. Kalıp ilki 50 mm diğerleri 5 mm olan toplam 3 kademedem oluşmaktadır.



Şekil 5: Asaş tarafından kullanılan kalıp ölçülerine göre hazırlanan ekstrüzyon kalıbının 3 boyutlu görüntüsü.

Catia'da 3 boyutlu olarak modellenen kalıp, zimba ve iş parçası geometrileri analizlerde .

3.2 Malzeme ve Sürtünme Parametreleri:

Sonlu elemanlar ve sonlu hacimler analizinde kullanılmak üzere oluşturulan Al 6082 malzemeye ait veriler aşağıdaki gibi modellenmiştir.

$$\sigma_y = C \varepsilon^N$$

Burada C katsayısı akma mukavemeti, ε şekil değiştirme hızı ve N üstel olarak şekil değiştirme hassasiyet katsayısı olarak açıklanabilir. Basma testleri sonucunda farklı sıcaklıklardaki malzeme karakterizasyonu bu ilişkiye göre modellenmiştir. Kalıp ve iş parçası arasındaki sürtünmenin sabit olduğu varsayılarak aşağıdaki gibi modellenmiştir.

$$\tau = m \tau_{yield}$$

Bu çalışmada direkt ekstrüzyon yağlayıcısız durum için $m = 0.5$ olarak alınmıştır.

3.3 Proses Parametreleri:

Asaş tarafından sağlanan verilere testlerde kullanılan zimba hızı 4 mm/s , zimbanın toplam stroku 30 mm dir. Diğer parametreler Tablo 3 de görülebilir.

Tablo 3: Simülasyonlarda Kullanılan Proses Parametreleri

İş parçasının uzunluğu	100 mm
İş parçası çapı	260 mm
İş Parçası başlangıç sıcaklığı	450 °C
Kovanın başlangıç sıcaklığı	430 °C
Toplam stroke	30 mm

3.4 Eleman Türü Ve Mesh:

Sonlu elemanlar ve sonlu hacimler analizinde eleman büyüklüğüne bağlı olarak çözüm hassasiyeti ve çözüm süresi değişmektedir. Kalıp geometrisi düşünüldüğünde profil çıkışının daha küçük elemanlara bölünmesi daha hassas sonuçlar elde etmeye imkan verecektir. Bunun için her iki analiz türünde de elemanları ikiye bölerek küçülten hacimler tanımlanmıştır.

Sonlu hacimler yöntemini kullanan analiz Simufact programı ile tetrahedral elemanlar ile, sonlu elemanlar yöntemini kullanan analiz ise Simufact programında brick elemanlar ile, Deform programında tetra hedral elemanlar ile yapılmıştır.

3.5 Sonuçlar ve Karşılaştırma

Sonlu elemanlar ve sonlu hacimler yöntemiyle elde edilen sonuçların Asaş alüminyum tarafından yapılmış gerçek testlerden elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılması mümkündür.

Tablo 4'de Asaş Alüminyum tarafından elde edilen sonuçlar görülebilir. Zimba basıncı ve profil çıkış sıcaklığı karşılaştırma için uygun parametrelerdir.

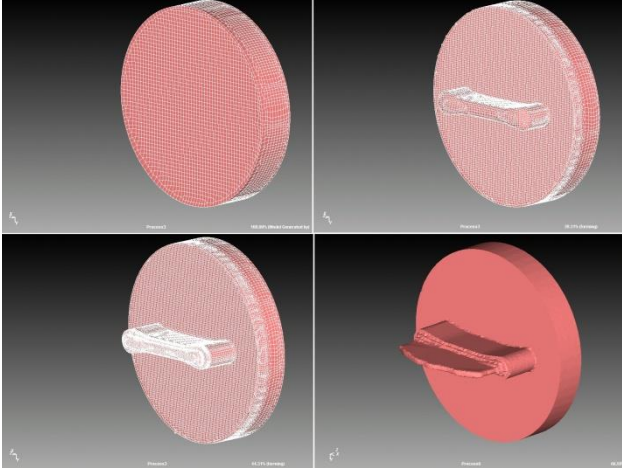
Tablo 4: Asaş Alüminyum tarafından elde edilen örnek deneysel sonuçlar:

	Zimba Basıncı-bar	Zimba Hızı-mm/s	Çıkış Sıcaklığı-°C	Kovan Basıncı-bar
1	54	0	521	244
2	119	0	519	244
3	105	0	510	232
4	123	0,7	508	246
5	150	2,5	508	248
6	180	2,7	505	248
7	198	2,6	504	248
8	210	2,6	505	248
9	227	2,9	511	248

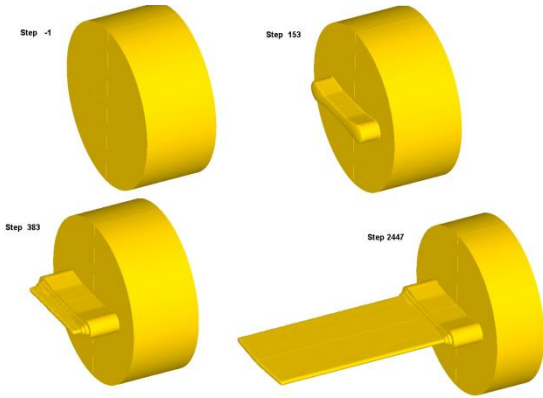
Şekil 6 ve Şekil 7'de farklı analizlerden elde edilmiş farklı aşamalardaki analiz görüntüleri görülebilir.

Şekil 8'de deneysel ve simülasyonlardan elde edilen zimba kuvveti değerlerinin karşılaştırılması mümkündür. Analiz sonuçlarına göre zimba kuvveti ile deneysel sonuçlar aynı mertebede bir birine yakındır.

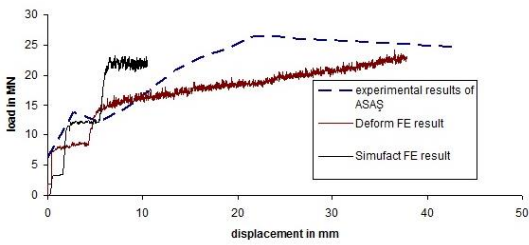
Asaş Alüminyum tarafından elde edilen deneysel sonuçlarda zimba kuvvetinin yanısıra profil çıkış sıcaklığı da mevcuttur. Analizlerden elde edilen sıcaklık değerleri ile deneysel verilerin karşılaştırılması mümkündür.



Şekil 6: Simufact analizine ait değişik aşamadaki görüntüler.

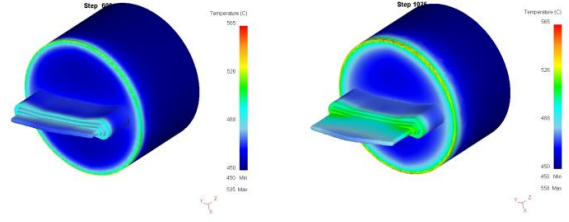


Şekil 7: Deform analizine ait değişik aşamadaki görüntüler.



Şekil 8: Deneysel ve Simulasyondan elde edilen zımba kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 9'da ve Tablo 5'te de görüleceği üzere analizlerden elde edilen çıkış sıcaklığı değerleri deneysel sonuçlara oldukça yakındır.



Şekil 9: Deform Analizinden elde edilen çıkış sıcaklık dağılımları

Tablo 5: Asaş test sonuçları ile Deform simülasyon çıkış sıcaklıklarının karşılaştırılması:

Ölçüm	Asaş Ölçümü	Deform Analizi
1	504	490
2	511	500
3	527	515
4	533	520
5	549	535

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada gerekli malzeme karakterizasyonu yapılarak endüstriyel boyuttaki ekstrüzyon işlemi nümerik olarak sonlu elemanlar ve sonlu hacimler yöntemleriyle modellenmiş ve elde edilen sonuçlar gerçek deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır.

Tek yönlü basma testleri yeni geliştirilen test kalıp düzeneği ile yapılmıştır. Testler esnasında sıcaklık ölçümleri için deneme testleri yapılmış ve gerekli ısıtma süreleri belirlenmiştir. Simulasyonlardan elde edilen sonuçlar göstermiştir ki Sonlu elemanlar yöntemi ile elde edilen sonuçlar gerçek sonuçlara daha yakındır.

Sonuç olarak gerekli malzeme karakterizasyonu ve sürtünme koşulları belirlendiğinde sonlu elemanlar yöntemi ekstrüzyon işleminin nümerik modellenmesinde kullanılabilir uygun yöntemdir.

A COMBINED EXPERIMENTAL-NUMERICAL INVESTIGATION ON ALUMINIUM EXTRUSION

This study focuses on an industrial size aluminum extrusion process and consists of both experimental and computational parts. On the basis of process parameters and die geometry supplied by ASAS Aluminum Company, full scale computational models of the process have been constructed by using

different commercial Finite Element and Finite Volume software packages. The necessary material characterization has been done by compression tests for which a new uni-axial compression test set-up suitable for high temperatures has been designed and manufactured. The measured load-displacement diagrams and exit temperatures are compared with the computational results. In addition to that, Finite Element and Finite Volume results are also compared. These results indicate that reasonable good agreement between the measured data and computational results can be achieved provided that the Finite Element Method is used and proper material characterization is conducted.

Keywords: Aluminum Extrusion, Finite Element Method, Finite Volume Method, Uni-axial Compression Test.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmadaki katkılarından ötürü Doç. Dr. İzzet ÖZDEMİR'e, Dr. Öğr. Üyesi Besim BARANOĞLU'na, Atılım Üniversitesi Metal Şekillendirme Mükemmeliyet Merkezi'ne ve ASAŞ Alüminyum A.Ş.'ne teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

1. J.Zhou, L. Li, J. Duszcyk, 3D FEM simulation of the whole cycle of aluminum extrusion throughout the transient state and the steady state using the updated Lagrangian approach, *Journal of Materials Processing Technology*, 134 (2003), 383-397.
2. Avitzur B., *Handbook of Metal-Forming Processes*, John Wiley & Sons, (1983).
3. L.Lİ, J. Zhou, j. Duszcyk, A 3D FEM simulation study on isothermal extrusion of a 7075 aluminum billet with a predetermined non-linear temperature distribution, *Modeling and Simulating in Material Science and Eng.*, 11, (2003), 401-416.

4. Gang Fang, Jie Zhou, Jurek Duszcyk, FEM simulation of aluminum extrusion through two-hole multi-step pocket dies, *Journal of Material Processing Technology*, 209, (2009), 1891-1900
5. Amin Farjad Bastani, Trond Aukrust, Sverre Brandal, Optimization of flow balance and isothermal extrusion of aluminum using finite-element simulations, *Journal of Materials Processing Technology*, 211, (2011), 650-667.
6. Shumei Lou, Gougun Zhao, Rui Wang, Xianghong Wu, Modeling of aluminum alloy profile extrusion process using finite volume method, *Journal of materials Processing Technology* 206 (2008) 481-490.
7. Lange K., *Handbook of Metal Forming*, McGraw-Hill, (1985).
8. Bathe, K.J., *Finite Element Procedures*, 1996, Prentice Hall.
9. *Metal Forming Mechanics and Metallurgy*, W.F. Hosford, R.M. Caddell, Cambridge University Press, (2007).
10. MARC AutoForge, *Command Reference*.Palo Alto, CA, Marc Analysis Research Corporation, (1998).
11. Wriggers, P., *Computational Contact Mechanics*, Wiley (CCM), (2002).

Ömer Eyercioğlu

Prof. Dr.

Gaziantep Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Mak. Müh. Bölümü,
Gaziantep, TÜRKİYE

Kürşad Göv

Doc. Dr

Gaziantep Üniversitesi, Havacılık,
ve Uçay Bilimleri Fak. Uçak ve.
Uçay Müh. Gaziantep, TÜRKİYE

Adem Aksoy

Gaziantep Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Mak. Müh. Bölümü,
Gaziantep, TÜRKİYE

Mehmet Aladağ

Gaziantep Üniversitesi,
Mühendislik Fakültesi,
Mak. Müh. Bölümü,
Gaziantep, TÜRKİYE

Bağlantı Elemanları Şekillendirme Kalıplarının Aşındırıcı Akışkan Yöntemiyle Parlatılması

Bu çalışmada, bağlantı elemanları (cıvata, somun vb.) kalıplarının yüzey parlatma işlemlerinde aşındırıcı akış işleme yöntemi (AFM) kullanılmıştır. Tel elektro-erozyon ile kesilen kalıp bileşenlerinin, yüzey pürüzlülüğü, aşındırıcı akışkanla işleme öncesi ve sonrasında ölçülerek yüzey kalitesinin değişimi incelenmiştir. Bulgular, elektro-erozyon nedeniyle oluşan beyaz katman tabakasının tamamen ortadan kaldırıldığını ve son yüzey pürüzlülüğünün (Ra) 1,5 µm'den 0,4 µm'ye azaltıldığını göstermiştir. Yüzey kalitesinin artışı, kalıp malzemesinin sertliğiyle orantılıdır.

Anahtar Kelimeler: Aşındırıcı Akışkanla İşleme, Dövme Kalıbı, Yüzey işlemleri

GİRİŞ

Bağlantı elemanları (cıvata, somun, vb), birden çok istasyona sahip, ardışık dövme, ekstrüzyon ve çapak kesme kalıplarının kullanıldığını preslerde imal edilmektedir [1]. Şekillendirme işlemi soğuk, ılık ya da sıcak şekillendirme olarak uygulanabilmektedir. Son dönemde gelişen standartlar ve ekonomik nedenlerden dolayı bağlantı elemanlarının hafifletmesi, montaj sistemlerini kolaylaştırılması, titreşim ve yorulma dirençlerini artırması konuları giderek önem kazanmaktadır. Bu nedenle, önde gelen otomobil şirketleri, giderek daha üstün mekanik özelliklere sahip ve karmaşık bağlantı elemanlarını tercih etmektedir [2]. Bu parçaların, artan geometrik karmaşıklığı nedeniyle, dövme kalıplarında yeni üretim yöntemlerine duyulan ihtiyaç artmıştır. Aşınma direnci ve kullanım süresi genellikle bağlantı elemanı şekillendirme kalıplarının yüzeylerinin kalitesine bağlıdır. Karmaşık geometri ve düşük toleranslar, kalıp yüzeylerinin son işleminin (parlatma) başarısı üzerinde olumsuz etkilere sahiptir. Gerekli yüzey kalitesini elde etmek, bazen çok uzun ve emek-yoğun el işçiliği gerektirmekte, bazen de klasik yüzey parlatma yöntemlerinin kapasitesinin ötesine geçmektedir. Karmaşık yüzeyli hassas parçaların yüzey parlatması için aşındırıcı akışkanla işleme (AFM) yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem havacılık, uçak, tıbbi ve diğer hassas imalat

alanlarında uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir [3].

Aşındırıcı akışkanla işleme yöntemi, basınç altındaki macunun iş parçası yüzeylerinde hareket etmesiyle yüzeyin parlatılmasını sağlar. Bu yöntem sayesinde, klasik parlatma yöntemleri ile elde edilemeyen ya da çok uzun süren yüzey pürüzlülüğü değerlerine ulaşıldığını yapılan çalışmalar ile ortaya konulmuştur [3]. Aşındırıcı akışkanla işleme yöntemindeki temel parametreler; akışkan parametreleri, işlem parametreleri ve iş parçası parametreleri olarak sınıflandırılmaktadır [4]. İşlem parametreleri; uygulanan basınç, çevrim sayısı ve kullanılan aşındırıcı macunun akış hızı ve hacmidir. İş parçası parametreleri; iş parçasının malzeme özellikleri, geometrisi ve mekanik işleme (torna, freze, elektro-erozyon vb) yöntemidir. Akışkan parametreleri ise viskozite, sıcaklık, aşındırıcı tane boyutu, aşındırıcı oranı ve aşındırıcı türüdür. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametreler aşındırıcı parametreleri olarak kabul edilmektedir [5].

Jain ve arkadaşları tarafından yapılan başka bir çalışmada, deneysel sonuçlara yakın, kabul edilebilir sonuçların elde edilebileceği bir teorik model belirlenmiştir [6]. Yaptıkları farklı bir çalışmada ise, macun viskozitesine bağlı olan parametreleri belirlemişlerdir. Buna göre, macun

viskozitesi; aşındırıcı tane büyüklüğü ile doğru orantılı, aşındırıcı oranı ve sıcaklıkla ters orantılıdır. Yüksek viskozitenin daha yüksek malzeme kaldırma oranı sağladığı ve daha düşük yüzey pürüzlülük değeri ortaya koyduğu görülmüştür [7]. Flenther ve Fioravanti [8] aşındırıcı macun için polimerik taşıyıcı olarak poliborosiloksan kullanmıştır. Bu çalışmada, aşındırıcı oranının aşındırıcı boyutu ve polimerik taşıyıcı özelliklerinden daha etkili olduğu kanıtlanmıştır. Polyborosiloksan kullanılan farklı çalışmalarda, alüminyum oksit (AlO₂), silisyum karbür (SiC) ve garnet gibi aşındırıcılar kullanmıştır. Gov ve arkadaşları tarafından yapılan bir araştırmada, aşındırıcı türlerinin, aşındırıcı akışla işlenmiş yüzeyler üzerindeki etkileri incelenmiştir [9]. AFM işlemi sırasında yüzeylere etkiyen kuvvetlerin ölçüldüğü bir çalışmada ise aşındırıcı macun parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkileri test edilmiştir [10,11].

Farklı şekillerde üretilmiş yüzeylerin aşındırıcı akışkanla işleme üzerine Loveless ve arkadaşları [12] tarafından yapılan bir araştırmada, taşlama, frezeleme, tornalama ve tel erozyon yöntemi ile üretilmiş yüzeyler üzerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri tel erozyon yöntemiyle işlenmiş yüzeyler üzerinde ortaya çıkmıştır. Elektro-erozyonla işlenmiş farklı malzemeler (H13 takım çeliği, Ti-6Al-4V, AISI D2 takım çeliği) üzerine yapılan deneylerde, beyaz katman tabakasının başarıyla yok edildiği görülmüştür [3]. Söz konusu çalışmada, malzemenin sertliği ve elde edilen yüzey pürüzlülüğü değerleri ters orantılı olduğu görülmüştür [3,13–15].

Bu çalışmada, bağlantı elemanları (civata, somun vb.) kalıplarının yüzey parlatma işlemlerinde aşındırıcı akış işleme yöntemi (AFM) kullanılmıştır. Tel elektro-erozyon ile kesilen kalıp bileşenlerinin, yüzey pürüzlülüğü, aşındırıcı akışkanla işleme öncesi ve sonrasında ölçülerek yüzey kalitesinin değişimi incelenmiştir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmamızda, çift yönlü aşındırıcı akışkanla işleme tezgahı kullanılmıştır (Şekil 1). Tezgah dört kısımdan oluşmaktadır. Ana gövde, tezgahın konstrüksiyonunu oluşturan ve pistonları barındıran kısımdır. Hidrolik ünite sayesinde sistemin ihtiyacı olan güç sağlanmaktadır. Kontrol ünitesi sayesinde aşındırıcı akışkan işlemi için gerekli parametreler belirlenir ve işlem kontrolü sağlanır. Soğutucu ünite ise gerektirdiği durumlarda pistonlar içerisindeki aşındırıcı akışkanı soğutmak için tasarlanmıştır. İşlem, piston içerisindeki aşındırıcı akışkanın, pistonların arasına yerleştirilen iş parçasının yüzeylerinde ileri-geri hareketi ile

meydana gelmektedir. Pistonların tam bir ileri-geri hareketi bir çevrimi ifade etmektedir. AFM tezgahının özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

Aşındırıcı Akışkan

Aşındırıcı akışkan, polimerik bir taşıyıcı ve silisyum karbür (SiC) aşındırıcıdan oluşmaktadır. Aşındırıcının boyutu 400 elek ölçüsü (mesh) ve oranı 66% olarak olarak seçilmiştir. Üretilen macunun viskozite değeri 60 Pa.s ve özgül hacmi 1.0 gr/cm³ (oda sıcaklığında) olarak tespit edilmiştir. Aşındırıcı akışkan hazırlandıktan sonra, homojen bir karışım olmasını sağlamak için tezgah içerisine kalıp yerleştirmeden 10 çevrim yapılmıştır.



Şekil 1. AFM Tezgahı

Tablo 1. AFM Tezgahının özellikleri

Hidrolik basınç	10-400 bar
Piston Kapasitesi	6 litre
Piston Çalışma Aralığı	400 mm
Piston Çapı	140 mm

Kalıplar ve AFM İşlemleri

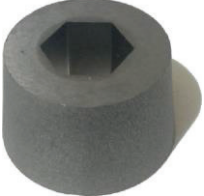


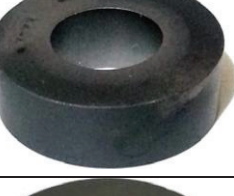

Deneysel çalışmada kullanılan kalıplar Şekil 2’de gösterilmiştir. Kalıplar çelik halkalara sıkı geçme yapılarak kullanılan toz metalden üretilmiş WC-%27Co (G55) çekirdeklerdir. Kalıplar elektro-erozyon yöntemiyle işlenmiş olup, yüzey pürüzlülükleri Mitutoyo SJ401 yüzey ölçüm cihazı ile AFM işlemi öncesinde ve sonrasında ölçülmüştür. Ölçümler kalıpların iç yüzeylerinde farklı yerlerde tekrarlanmıştır. AFM işleminin farklı sertlik ve geometri üzerindeki (heksagonal ve dairesel) etkilerini gösterebilmek amacıyla bağlantı elemanları şekillendirmede sık kullanılan farklı kalıplar

seçilmişlerdir. Kalıpların sertlik değerleri Vickers sertlik ölçümü cihazıyla yapılmıştır.

AFM işlemi için, kalıplar uygun bir şekilde tezgaha yerleştirilmiş ve Tablo 2’de verilen parametre değerleri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Kullanılan parametrelerle, bir çevrim 150 sn ve bir kalıbın parlatılması için geçen süre 50 dk olarak belirlenmiştir.

Tablo 2. AFM İşlem Parametreleri

Çevrim Sayısı	20
Aşındırıcı Boyutu	400
Aşındırıcı Türü	SiC
Aşındırıcı Oranı	66%wt.
Aşındırıcı akışkan hızı	300 mm/min

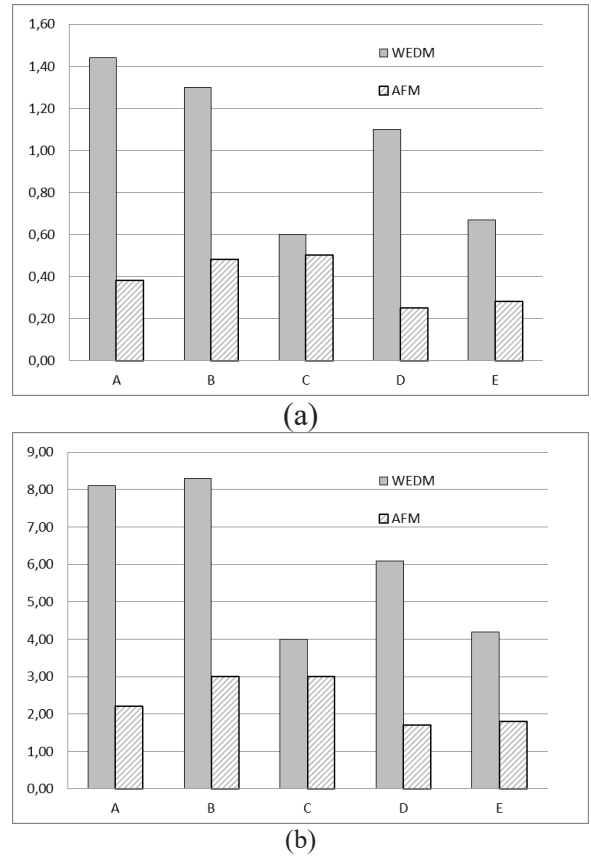
Kalıp	Fotograf
A <i>Dış Ø30 mm</i> <i>Yükseklik 40 mm</i>	
B <i>Dış Ø38 mm</i> <i>Yükseklik 25 mm</i>	
C <i>Dış Ø30 mm</i> <i>Yükseklik 12 mm</i>	
D <i>Dış Ø 40 mm</i> <i>Yükseklik 20 mm</i>	
E <i>Dış Ø40 mm</i> <i>Yükseklik 20 mm</i>	

Şekil 2. Kalıplar

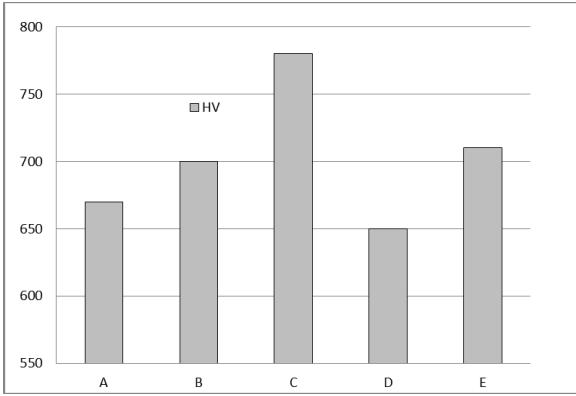
BULGULAR VE TARTIŞMA

Yüzey Pürüzlülüğü

Şekil 3’te, AFM işlemi öncesi ve sonrasında yüzey pürüzlülüğü ölçümleri sonuçları (Ra ve Rz) gösterilmiştir. Bütün kalıplarda AFM işleminin yüzey kalitesini arttırdığı görülmektedir. Ra değerleri 0.5 μm ve Rz değerleri 3 μm ’nin altına düşürülmüştür. Kalıpların sertlik ölçümü sonuçları ve yüzey kalitesindeki yüzde iyileşmenin malzeme sertliğine göre değişimi sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5’te verilmiştir. Malzeme sertliğinin artışıyla yüzey pürüzlülüğündeki iyileşme azalmaktadır. AFM işleminde SiC kullanıldığı ve bütün kalıplar için 20 çevrim yapıldığı dikkate alınarak, sert malzemeler için daha sert aşındırıcılar (bor karbür gibi) kullanmak veya çevrim sayısını arttırmak gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ancak, bu kalıplarda sürtünmeyi azaltmak için kullanılan yağın yüzeyde tutunabilmesi için yüzey pürüzlülüğünün çok azaltılması uygun değildir. Deneysel çalışmada 0.5 μm Ra değeri hedeflenmiştir.



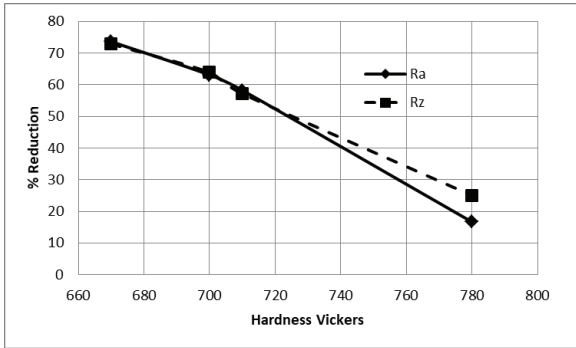
Şekil 3. Yüzey pürüzlülüğü (a) Ra (μm) (b) Rz (μm) tel erozyon kesimi sonrası (WEDM) ve aşındırıcı akışkanla işleme sonrası (AFM)



Şekil 4. Kalıpların Vickers sertlik değerleri

Beyaz Katman Tabakası

Elektro-erozyonla işlenmiş yüzeylerde oluşan beyaz katman tabakasının SEM görüntüsü Şekil 6a'da görülmektedir. Beyaz katman tabakası, ark oluşumu esnasında ergiyip tekrar yüzeye yapışan, pürüzlü ve çoğunlukla mikro-çatlaklar içeren sert bir tabakadır. Bu tabakanın, yüzey parlatma işlemiyle tamamen ortadan kaldırılması, hem yüzey kalitesi ve hem de kalıp ömrü açısından önemlidir. AFM işlemi sonrasında, beyaz katman tabakasının tamamen ortadan kaldırıldığı Şekil 6b'de görülmektedir.



Şekil 5. Yüzey kalitesindeki yüzde iyileşmenin malzeme sertliğine göre değişimi

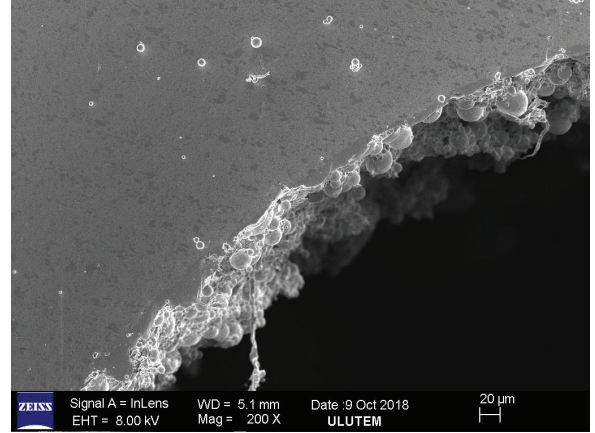
SONUÇ

Bu çalışmada, bağlantı elemanlarının şekillendirilmesinde kullanılan kalıpların, aşındırıcı akışkanla işlenmesinin yüzey kalitesine etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmadan aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

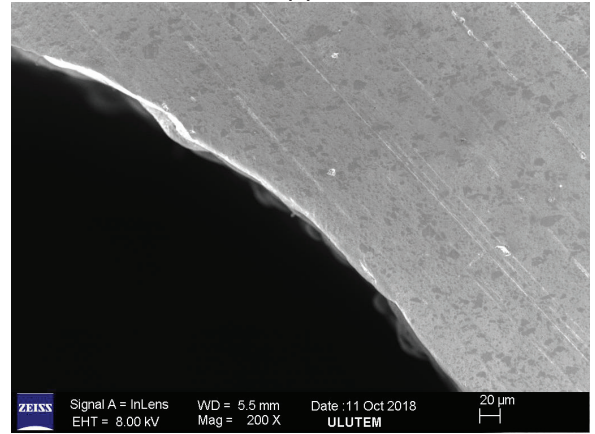
- Aşındırıcı akışkanla işleme (AFM) yöntemi, bağlantı elemanları kalıplarının parlatılmasında hızlı ve etkin bir yöntem olarak kullanılabilir.
- SiC aşındırıcı kullanılarak 20 çevrimde sonucunda yüzey pürüzlülüğü değerleri $Ra < 0.5 \mu m$ ve $Rz < 3 \mu m$ seviyelerine düşürülmüştür.

- Yüzey kalitesindeki iyileşme, iş parçasının sertliğine bağlı olarak %74 ile %17 arasında değişmektedir.

- Elektro-erozyonla elde edilmiş kalıp yüzeylerindeki beyaz katman tabakası, AFM yöntemiyle tamamen ortadan kaldırılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 6. Beyaz katman tabakası (a) tel erozyon (WEDM)kesimi sonrası ve (b) aşındırıcı akışkanla işleme (AFM) sonrası

Finishing of Fastener Forming Dies by Using Abrasive Flow Machining Method

In this study, abrasive flow machining method (AFM) was used for surface finishing of fasteners (bolts, nuts, etc.) forming dies. The change in surface quality of the die components cut by wire electrical discharge machining was investigated by measuring the surface roughness before and after the abrasive flow machining process. The results showed that the white layer due to electrical discharge machining was completely eliminated and the final surface roughness (Ra) was reduced from $1.5 \mu m$ to $0.4 \mu m$. The increase in the surface quality is proportional to the hardness of the die material.

Keywords: Abrasive Flow Machining, Forging Die, Surface Processing

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmada kullanılan deney numunelerinin temininde yardımcı olan Norm Cıvata San. Ve Tic. A.Ş.'ne ve çalışmaya destek sağlayan Gaziantep Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederler.

KAYNAKÇA

1. C. Kılıçaslan and U. İnce, Soğuk Dövme Kalıplarında Meydana Gelen Kırılma Sebeplerinin Nümerik Olarak İncelenmesi- Numerical Investigation of Failure Evolution on Cold Forging Dies, *Mühendis ve Makina* 57 (687) (2016) 65–71.
2. N.E. Kılınçdemir et al., Yenilikçi Kalıp Sistemleri Tasarımı İle Eksen Kaçıklığına Sahip Soğuk Dövme Parçalarının Üretimi, *Met. Dünyası Dergisi* (2016).
3. K. Gov, Abrasive Flow Machining of EDMed, Gaziantep University, 2014.
4. L. Rhoades, Abrasive flow machining: a case study, *J. Mater. Process. Technol.* 28 (1–2) (1991) 107–116.
5. V.K. Jain and S.G. Adsul, Experimental investigations into abrasive flow machining (AFM), *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 40 (7) (2000) 1003–1021.
6. R.K. Jain and V.K. Jain, Finite element simulation of abrasive flow machining, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 217 (12) (2003) 1723–1736.
7. V.K. Jain, C. Ranganatha, and K. Muralidhar, Evaluation of Rheological Properties of Medium for Afm Process, *Mach. Sci. Technol.* 5 (2) (2001) 151–170.
8. A.J. Fletcher and A. Fioravanti, Polishing and Honing Processes: An Investigation of the Thermal Properties of Mixtures of Polyborosiloxane and Silicon Carbide Abrasive, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part C J. Mech. Eng. Sci.* 210 (3) (1996) 255–265.
9. K. Gov and O. Eyercioglu, Effects of abrasive types on the surface integrity of abrasive-flow-machined surfaces, *Proc. Inst. Mech. Eng. Part B J. Eng. Manuf.* 232 (6) (2018) 1044–1053.
10. A. Agrawal, V.K. Jain, and K. Muralidhar, Experimental determination of viscosity of abrasive flow machining media, *Int. J. Manuf. Technol. Manag.* 7 (2/3/4) (2005) 142.
11. V.. Gorana, V.. Jain, and G.. Lal, Experimental investigation into cutting forces and active grain density during abrasive flow machining, *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 44 (2–3) (2004) 201–211.
12. T.R. Loveless, R.E. Williams, and K.P. Rajurkar, A study of the effects of abrasive-flow finishing on various machined surfaces, *J. Mater. Process. Technol.* 47 (1–2) (1994) 133–151.
13. O. Eyercioglu, K. Gov, and A. Aksoy, Abrasive Flow Machining Of Asymmetric Spur Gear Forging Die, in 6th Int. GAP Eng. Conf. – GAP2018, (2018): pp. 426–443.
14. K. Gov and O. Eyercioglu, Abrasive Flow Machining of Ti-6AL-4V, in Int. Sci. Technol. Conf., (2017): pp. 2146–7382.
15. K. Gov, O. Eyercioglu, and M.V. Cakir, Hardness effects on abrasive flow machining, *Stroj. Vestnik/Journal Mech. Eng.* 59 (10) (2013) 626–631.

Yusuf Tansel İ
Doç. Dr.

Başkent Üniversitesi Endüstri
Mühendisliği Bölümü, Etimesgut, Ankara

Emin Kabacaoğlu
End.Müh.

Ineo Danışmanlık, Ankara

ağlar Tümay
End.Müh.

Central Asia Trading Co., Kazakistan

Hasan İnanç Demirtaş
End.Müh.

Türk Kızılayı, Ankara.

Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler İçin İşleme Merkezi Seçiminde Kullanılabilecek Bir Karar Destek Sistemi

Küreselleşen iş dünyası, rekabetçi ekonomi, bilgisayar ve elektronik teknolojisindeki gelişmeler firmaları eski tezgâhlar yerine yeni işleme merkezleri satın almaya zorlamaktadır. İmalat tesisinde işleme merkezi seçimi zor ve karar alma aşaması çok uzun zaman alabilen bir problemdir. Seçim süreci geniş bir çeşitlilikteki işleme merkezinin ve işlenecek parça özelliklerinin hesaba katulmasını zorunlu kılar. Bu çalışmada, pratik uygulamalar göz önüne alınarak, işleme merkezi seçmek için karar vericiye yardımcı olacak tarzda bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Uygun işleme merkezleri karar vericinin sorulara verdiği cevaplara göre veri tabanından seçilmektedir.

Anahtar Kelimeler: İşleme Merkezi, CNC, İmalat, Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler, TOPSIS.

1. GİRİŞ

Küçük ve Orta Büyüklükteki (KOBİ) işletmeler imalat endüstrisinin en etkin ve önemli kuruluşları olarak nitelenmekle birlikte, ülkelerin ekonomik gelişmelerinin hızlandırılması için önem verilmesi ve geliştirilmesi gereken en önemli aktörlerden biri olmaktadır. Günümüzde birçok KOBİ firmasının araştırma-geliştirme, işlemler yönetimi ve endüstriyel zincirin koordinasyon ve devamlılığını sürdürme kabiliyeti açısından önemli zayıflıkları bulunmaktadır. Dolayısıyla literatürde yer alan, ancak gerçek hayatta uygulanmasında güçlükler çekilen yöntem ve tekniklerin KOBİ'lerde uygulanabilir hale getirilebilecek araçlara dönüştürülmesi, bu ölçekteki işletmelerin rekabet avantajı kazanması açısından son derece önemli katkılar sunabilecektir.

Diğer taraftan, günümüz bilgi teknolojileri paralelinde imalat sanayiinin bilgi teknolojilerini kullanarak işlemlerini daha etkin hale getirebilmesi özellikle ülkemiz imalat sanayiinin geliştirmesi gereken en önemli konulardan birisidir. Uluslararası literatürde KOBİ'lerin bilgi teknolojilerinin kullanımı ve işlemlerini daha verimli yürütebilmek üzere bilgi teknolojilerinden etkin faydalanmaları konusunda yaşadıkları en önemli problemler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır [1]:

a) KOBİ'lerin birçoğu insan ve iş gücü bazı sistemlerle yönetilen kurumlardır. KOBİ'ler temel olarak ekipman üretmekte ve/veya uluslar arası firmaların alt yüklenicisi konumundadır. Dolayısıyla temel teknolojilere odaklanamadıklarından kar oranları düşük seviyede kalmaktadır. Bu durum ise KOBİ'leri değer zincirinin alt konumlarına itmektedir.

b) *Kendi süreçleri üzerine araştırma-geliştirme kabiliyetindeki yetersizlikler:* Kendi süreçlerini geliştirme kabiliyeti bilgi teknolojilerini kullanabilme kabiliyetiyle ve pazar ve sermayeyi kontrol edebilme yeteneğiyle yakından ilgilidir. Diğer taraftan, birçok KOBİ'lerde çalışanların teknik, teorik ve uygulamaya dönük eğitim seviyeleri geliştirilmeye açık bir alan olup, uzun vadeli karar alma süreçlerinde bu durum dezavantaj yaratabilmektedir.

Yukarıda sıralanan iki temel dezavantajın giderilmesi amacıyla, KOBİ'lerle üniversitelerin iş birliği yapmaları oldukça önemlidir. Bu işbirliğinin bir ayağı ar-ge projeleri üzerinden olabileceği gibi, diğer önemli bir ayağı ise KOBİ'lerin işlemlerini daha verimli yürütebilmeleri için kendilerine kullanışlı araçların sunulabilmesidir. Piyasada işlemlerin yürütülmesine yönelik Kurumsal Kaynak Planlaması (Enterprise Resource Planning) gibi bazı yazılımlar mevcuttur. Bu

yazılımlar ticari yazılımlar olup, kullanılabilmesi için uzmanlık gerektiren ve bir eğitim sürecini tamamladıktan sonra firma personeli tarafından kullanılabilir tarzdeki yazılımlardır. Bunun yanı sıra, örneğin satın alma süreçlerinde makine/ekipman seçimi, robot seçimi, malzeme seçimi, kesici takım seçimi gibi sıralayabileceğimiz konularda uzman görüşlerinin bir bilgisayar programına aktarıldığı, her KOBİ tarafından ulaşılabilir nitelikte olan ve herhangi bir ücret ödemediği kullanılabilir, öğrenilebilecek, daha iyiye doğru güncellenip geliştirilebilecek yazılım uygulamalarının yaygınlaştırılması, KOBİ'lerin işlemlerini daha verimli sürdürmeleri açısından son derece önemlidir.

Özellikle son yıllarda Türkiye ekonomisinin katma değeri yüksek ürünlerin imalatına yönelmiş olması ve bu stratejide havacılık ve uzay ile otomotiv imalatının başı çekiyor olması, özellikle bu sektörlerde parça tedarik eden firmaları daha nitelikli ürünler üretmeye zorlamaktadır. Katma değeri yüksek ürünlerin üretiminde kurumsal firmalar başı çekse de, KOBİ'ler alt yüklenici olarak önemli projelere parça tedarikinde yüklenici olmaktadır. Bu üretimlerin istenen tolerans ve kalitede teslim edilebilmesinde de CNC (Computer Numeric Control) işleme merkezlerinden yararlanılması kaçınılmaz olmaktadır. CNC tezgâhların yüksek ilk yatırım maliyeti nedeniyle satın alma kararlarının doğru verilmesi KOBİ'ler için çok önemlidir. Bu nedenle yapılacak işe uygun tezgâhin seçilme kararını kolaylaştıracak araçlara ihtiyaç bulunmaktadır. Bu amaçla, KOBİ'lerin farklı gereksinimlerine karşılık verebilecek olan bir işleme merkezi seçimi karar destek sisteminin geliştirilmesi çalışmamızın temel hedefini oluşturmaktadır.

Bu amaçla çalışmamızda imalat sanayiinde faaliyet gösteren KOBİ'ler için işleme merkezi seçimine yönelik, her imalat firması tarafından kolaylıkla kullanılabilir bir karar destek sistemi (KDS) geliştirilmiştir. KDS Excel ile Access üzerinde geliştirildiğinden ve bu uygulamalar her firmada mevcut olduğundan; KOBİ'ler için kolay, hızlı, anlaşılabilir, geliştirilebilir özellikte ve herhangi bir ücret ödemediği kullanılabilir bir yazılım niteliğindedir. KDS'nin geliştirilmesinde literatürde en yaygın, uygulama adımları en kolay olan ve makine seçim çalışmalarında en uygun sonuçları hızlı bir şekilde sunabilen TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yönteminden faydalanılmıştır. TOPSIS yöntemi yukarıda sayılan özellikleriyle literatürdeki karmaşık, uygulaması zor ve derinlemesine bilgi isteyen diğer matematiksel programlama temelli yöntemlerle kıyaslandığında KOBİ firmalarının uygulamalarında yararlanılabilecek en uygun yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Karar destek sisteminin geliştirilmesinde uygulama yapılan firma diğer imalat firmalarına da örnek oluşturabilecek bir yapıda olan, Başkent Organize Sanayi Bölgesinde (OSB) faaliyetlerini sürdüren bir firma olup, siparişe göre üretim yaptığından çok çeşitli özellikte parçaları işleme durumunda kalabilmektedir. Firma, gelen siparişlerin bazılarını işlerken, işleme merkezinin eksen ve tabla kısıtından ötürü (doğru bir karar süreci sonunda uygun tezgâhin satın alınmamış olması nedeniyle) bazı durumlarda parçayı döndürerek işlemekte ve bu da zaman ve para kaybına yol açmaktadır. Ayrıca, firma küçük parçaları işlemeye yönelik bir tezgâha sahip olmadığından kullanımı daha maliyetli olan 5 eksenli işleme merkeziyle basit parçaları işlemek zorunda kalmaktadır. Firma çok farklı sektörlerdeki birçok firmaya çok farklı boyutlarda parça işleyen çoğu KOBİ gibi, çok küçük boyutlu parçalardan çok büyük boyutlu parçalara kadar geniş bir yelpazede parça işlemek durumunda kalabilmektedir. Bu durum firmanın kullandığı işleme merkezlerinin tabla alanı ve eksen hareket mesafelerinin geniş aralıkta seçilmesi gerektiğini göstermektedir. Başka bir alternatif olarak ise; firma küçük parçalar için kullanılmak üzere yeni bir işleme merkezi satın alma yoluna da gidebilir.

CNC işleme merkezi, iş parçalarının farklı yüzeylerinde istenen boyutsal tamlikta ve istenen toleranslarda daha kısa sürede işlenmesine imkân sağlar. Ayrıca 3 ila 5 farklı eksenle doğrusal ve açılabilir hareket ile otomatik kesici takım değiştirme kabiliyeti sayesinde daha önce farklı tezgâhlarda yapılan çok sayıda işlemin tek bir tezgâhta yapılmasına olanak verir [2]. Bu özelliğinden dolayı CNC işleme merkezleri, esnek üretim sistemleri gibi ileri imalat teknolojilerinin kullanıldığı yerlerde tercih edilen tezgâhlardır. Piyasada çok sayıda marka ve modelde CNC işleme merkezinin satılması ve işleme merkezlerinin birbirinden farklı tabla boyutu, hız, hassasiyet, güç, eksen boyutu vb. özelliklere sahip olması imalat sistemine uygun işleme merkezinin seçimini zorlaştırır. Bu denli çok seçenekli ve karmaşık bir durum desteğe ihtiyaç doğurmaktadır [2]. Bu çalışmada yukarıda belirtilen ihtiyacı gidermeye yönelik olarak 3 veya 5 eksenli işleme merkezlerinin seçilmesine yönelik bir karar destek sistemi geliştirilmiştir. Oluşturulan karar destek sistemi tüm imalatçı firmaların kullanıma yönelik olarak tasarlanmıştır.

Literatürde birçok işleme merkezi seçim çalışmasına rastlanabilmektedir. İç ve Yurdakul [2], Lin ve Yang [3], Çimren v.d. [4], Oeltjenbruns vd. [5], Tabuconon vd. [6], Yurdakul [7], Sun [8], Wang vd. [9], Yurdakul ve İç [10,11], Arslan v.d. [12], İç ve Yurdakul [13], İç vd. [14], Atmani ve Lashkari [15], Gerrard [16], Haddock [17] işleme merkezi veya takım tezgâhi seçimi için çalışmalar sunmuşlardır. Bu çalışmalardan [2-14] nolu kaynaklardaki çalışmalar Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleriyle işleme merkezi seçimi

gerçekleştirilen çalışmalardır. Bunun dışında Chakraborty ve Boral [18] işlenecek malzeme özellikleri ve kalite beklentilerine göre hangi işleme merkezinin seçilmesi gerektiğini sadece genel işlem bazında veren (örneğin “tornalama merkezi ile işlem yapılmalı” veya “taşıma tezgahı ile işlem gerçekleştirilmeli” şeklinde) bir durum bazlı seçim metodolojisi (Case Based Selection-CBS methodology) önermiştir. Bizim sunduğumuz KDS’de ise, imalat süreci belirli olup, o süreci hangi tür/tip/model işleme merkezinin daha iyi gerçekleştirebileceği araştırılmaktadır. Diğer taraftan Peng v.d. [19] kesme parametrelerine en uygun işleme merkezinin hangisinin olduğunu belirleme üzere C# ve MATLAB programlarının kullanıldığı bir imalat süreci-uygun takım tezgahı eşleştirme modeli geliştirmişlerdir. Sürece ilişkin veriler Microsoft SQL hizmet sağlayıcısı üzerinden toplanmış ve veri tabanına aktarılmıştır. Ardından C# ve MATLAB ile bir hesaplama uygulaması geliştirilmiştir. Uygulamada alternatiflerin sıralanması için TOPSIS yönteminden faydalanılmıştır.

Literatürdeki çalışmalarda en yaygın kullanılan ÇKKV yöntemi TOPSIS olup, çalışmamızda da bu yöntemin kullanılması tercih edilmiştir. Yöntemin tercih edilme sebebi matris işlemleri ile uygulama adımlarının işletiliyor olmasının bilgisayar uygulamasını kolaylaştırması ve metodolojinin pozitif ideal çözüme yakın olan alternatifleri sıralamada üstte tutma prensibine dayanmasıdır. Bu özellik, diğer “mesafe bazlı-distance based- ÇKKV yöntemleri” olan Gri İlişkisel Analiz (GRA) ve VIKOR yöntemlerine nazaran özellikle işleme merkezi seçimi gibi pozitif ideal değerlerin (daha güçlü, daha hızlı, daha ucuz, daha hassas olmanın daha iyi olma durumu) öncelikle tercih edilmesi gereken ÇKKV çalışmalarında uygun alternatifin seçimini kolaylaştırmaktadır. Çalışmanın literatürdeki çalışmalardan en önemli farkı 5-eksenli işleme merkezi seçimine de olanak vermesidir. Literatürdeki çalışmalarda 3 eksenli tezgâhlar dikkate alınmakta ve çoğu çalışmada bir ÇKKV yönteminin işleme merkezi seçiminde nasıl işletebileceğine odaklanılmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen karar destek sisteminin ise gerçek hayattaki özellikle KOBİ’lerin faaliyetlerine uygun işleme merkezlerinin seçim çalışmalarına ışık tutması hedeflenmektedir.

2. TOPSIS YÖNTEMİ

TOPSIS yönteminin temel felsefesi, aralarından seçim yapılacak alternatiflerin hem ideal çözüme hem de negatif ideal çözüme olan uzaklığını belirleyerek, ideal çözüme daha yakın olan alternatifleri tercih etmek şeklinde bir prosedür takip ederek alternatifleri sıralamaktır. TOPSIS Hwang ve Yoon [18] tarafından 1980 yılında geliştirilmiş olup uygulama adımları aşağıda sunulmuştur:

Adım 1 : Karar Matrisinin (A) Oluşturulması

Karar matrisinin satırlarında alternatifler ($i=1,\dots,m$), sütunlarında ise karar vermede kullanılacak kriterler ($j=1,\dots,n$) bulunur:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Adım 2: Standart Karar Matrisinin (R) Oluşturulması

Standart Karar Matrisi (R), A matrisinin elemanlarından yararlanarak aşağıdaki formül ile oluşturulur:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m a_{kj}^2}} \quad (2)$$

R matrisi aşağıdaki gibi gösterilir:

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Adım 3: Ağırlıklı Standart Karar Matrisinin (V) Oluşturulması

Kriterler ilişkin ağırlık değerleri (w) belirlendikten sonra (Hwang ve Yoon [18] tarafından geliştirilen 1 ila 10 rakamları arasında verilebilen:1 en önemsiz, 10 en önemli şeklinde) R matrisinin her bir sütunundaki elemanlar ilgili ağırlık değeri ile çarpılarak V matrisi oluşturulur:

$$V_{ij} = \begin{bmatrix} w_1 r_{11} & w_2 r_{12} & \dots & w_n r_{1n} \\ w_1 r_{21} & w_2 r_{22} & \dots & w_n r_{2n} \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot \\ w_1 r_{m1} & w_2 r_{m2} & \dots & w_n r_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Adım 4: İdeal ve Negatif İdeal Çözümlerin Oluşturulması

İdeal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki değerlerinin en büyükleri (ilgili değerlendirme faktörü en küçükleme yönlü ise en küçüğü) seçilir (Eş.5).

$$A^* = \left\{ (\max_i v_{ij} | j \in J), (\min_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (5)$$

Negatif ideal çözüm setinin oluşturulabilmesi için V matrisindeki değerlerinin en küçükleri (ilgili değerlendirme faktörü enbüyükleme yönlü ise en büyüğü) seçilir (Eş.6).

$$A^- = \left\{ (\min_i v_{ij} | j \in J), (\max_i v_{ij} | j \in J') \right\} \quad (6)$$

Adım 5: Ayırım Ölçülerinin Hesaplanması

Her bir alternatifin ideal ve negatif ideal çözüme uzaklıkları İdeal (S_i^*) ve Negatif İdeal Ayırım Ölçüsü (S_i^-) olarak belirlenir.

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (7)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (8)$$

Adım 6: İdeal Çözüme Göreli Yakınlığın Hesaplanması

İdeal çözüme göreli yakınlık değerinin hesaplanması aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*} \quad (9)$$

3. İŞLEME MERKEZİ SEÇİMİ KARAR DESTEK SİSTEMİNİN OLUŞTURULMASI

Oluşturulan karar destek sisteminin iş akışı Şekil 1'de verilmektedir. Karar destek sistemi Visual Basic, Access ve TOPSIS kullanılarak oluşturulmuştur.

3.1. Veri tabanı

Veri tabanı Access ile oluşturulmuş ve Visual Basic'e aktarılmıştır. Veri tabanında (178) adet tezgâha ilişkin (1900) adet bilgi bulunmaktadır. Veri tabanının bir bölümü Ek-3'te sunulmaktadır.

3.2. Ön eleme bölümü

Oluşturulan karar destek sisteminde veri tabanından 3 ve 5 eksenli tezgâhlara yönelik sorgulama yapılabilmektedir. Programın ilk safhasıdır. Kullanıcı program tarafından yöneltilen sorulara cevap verir. Ardından veri tabanından kullanıcının sorularına verdiği

cevaplara uygun tezgâhlar çağırılır. Böylece, ön eleme sonucunda veri uzayından işe uygun olan aday tezgâhlar belirlenir. Programın ön eleme ekranı Şekil 2'de verilmektedir. İşleme merkezlerinin fiyatları EURO para birimi ile sunulmaktadır.

3.3. TOPSIS ile sıralama

Hazırlanan 10 adet soru kullanıcı tarafından yanıtlandıktan sonra ve kriter ağırlık değerleri girildikten sonra "Uygun Makineleri Listele" butonuna tıklandığında program kullanıcının girdiği verilere uygun tezgâhları veri tabanından çekerek TOPSIS yöntemiyle sıralar ve ekranda sonuçları listeler. Sıralama işleminde Şekil 2'de görülen "Kriter Ağırlıkları" kısmındaki kutucuklara kriter ağırlıkları kullanıcı tarafından TOPSIS yöntemini ortaya koyan Hwang ve Yoon'un 1-10 arasında rakamlarla ifade edilen (1 en kötü, 10 en iyi durumu ifade eder) ölçeğe göre girilebilmektedir.

4. UYGULAMA

Bu bölümde firmanın farklı boyut (hacim ölçüsü- mm^3 dikkate alınmaktadır) ve işleme özelliklerine sahip parçaları işleyebilmesi için en uygun tezgâhların hangileri olduğunun sorusuna yanıt aranmaktadır. Firma uygulamasında işlediği parçaları; küçük hacimli, orta hacimli, büyük hacimli ve çok büyük hacimli parçalar şeklinde bir sınıflandırmaya tabi tutmaktadır. Bu sınıflarda yer alan parçaların işlenmesine uygun olabilecek işleme merkezlerinin seçimi aşağıda verilen uygulamaların içeriğini oluşturmaktadır.

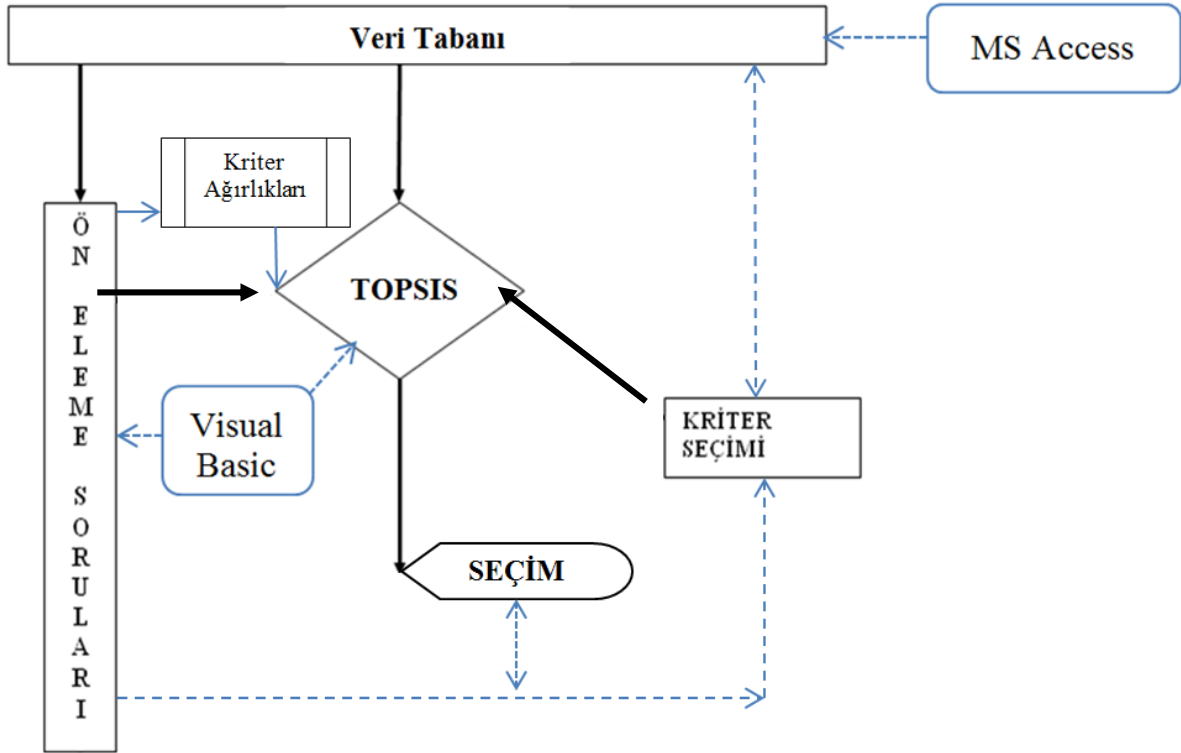
4.1. Küçük hacimli parçaları işlemeye yönelik işleme merkezi seçimi

Bu uygulamada firma yetkilisinden firmanın mevcut üretim portföyünde yer alan ve "küçük hacimli parçalar" şeklinde nitelendirdiği parçaların (örneğin Ek-2'deki parça) işlenmesine yönelik bir işleme merkezi seçimi yapılması durumunu dikkate alarak gereksinimlerini programa girmesi istenmiştir. Girilen veriler doğrultusunda Şekil 3'deki gibi bir sonuç elde edilmektedir.

Firma yetkilisi ile yapılan seçim işlemi sonucunda program, OKUMA MB 46-56, EAGLE VMC 600-1000, CHALLENGER VM 1000, LEADWELL V20, FIRST MCV600-800-1000, HYUNDAI SPDV 550D makinelerini işe uygun tezgâhlar olarak önermektedir. Bu tezgâhlar arasından LEADWELL V20 veya FIRST MCV 800 işleme merkezlerinden biri sıralama puanı ve fiyatlar göz önünde bulundurularak firmaya önerilebilir.

4.2. Orta hacimli parçaları işlemeye yönelik işleme merkezi seçimi

Firmanın orta hacimli parçalarının özellikleri dikkate alınarak girilen veriler doğrultusunda Şekil 4'deki tezgâhlar firmaya önerilebilmektedir.



Şekil 1. Karar destek sisteminin iş akışı

Form1

Kriter Ağırlıkları

1-) Tabla Alanı Gereksinimini Giriniz Min: mm² Max: mm²

2-) İş Mili Hızı Gereksinimini Giriniz Min: dev/dk Max: dev/dk

3-) İş Mili Güç Gereksinimini Giriniz kw

4-) Maksimum İş Parçalarının Ağırlıklarını Giriniz kg

5-) İhtiyaç Duyulan Maksimum Takım Boyunu Giriniz mm

6-) X,Y,Z Eksen gereksinimlerini Giriniz x: mm y: mm z: mm

7-) İhtiyaç Duyulan En Büyük Takım Çapını Giriniz mm

8-) İhtiyaç Duyulan Takım Sayısını Giriniz adet

9-) İhtiyaç Duyulan Opsiyonel Özellikler

Talaş Konveyörü

Takım Ölçme Sistemi

3 Eksenli Tezgah Döner Tabla Gereksinimi

10-) İhtiyaç Duyulan Eksen Sayısını Seçiniz

5 Eksen İhtiyacınız için A ve C Eksen Gereksinimlerini Giriniz

A: mm

C: mm

Uygun Makinelerin Listesi

Marka	Model	Fiyat	Ağırlık

Uygun Makineleri Listele **Veri Tabanı Temizle ve Çık**

Şekil 2. Ön eleme soruları ekranı

Form1

Kriter Ağırlıkları

1-) Tabla Alanı Gereksinimini Giriniz Min: 140000 mm² Max: 800000 mm² 2

2-) İş Mili Hızı Gereksinimini Giriniz Min: 1000 dev/dk Max: 10000 dev/dk 5

3-) İş Mili Güç Gereksinimini Giriniz 5 kw 6

4-) Maksimum İş Parçalarının Ağırlıklarını Giriniz 900 kg 3

5-) İhtiyaç Duyulan Maksimum Takım Boyunu Giriniz 300 mm 5

6-) X,Y,Z Eksen gereksinimlerini Giriniz x: 100 mm y: 100 mm z: 100 mm

7-) İhtiyaç Duyulan En Büyük Takım Çapını Giriniz 90 mm 9

8-) İhtiyaç Duyulan Takım Sayısını Giriniz 7 adet 7

9-) İhtiyaç Duyulan Opsiyonel Özellikler

Talaş Konveyörü

Takım Ölçme Sistemi

3 Eksenli Tezgah Döner Tabla Gereksinimi

10-) İhtiyaç Duyulan Eksen Sayısını Seçiniz

3 - Eksen

Uygun Makinelerin Listesi

Marka	Model	Fiyat	Ağırlık
OKUMA	MB56VA	162800	0.4928585
OKUMA	MB46VA	130900	0.5014306
EAGLE	VMC600	47300	0.1003716
EAGLE	VMC1000	49500	0.4996377
CHALLENGER	VM1000	61600	0.01605826
LEADWELL	V20	36300	0.5083356
FIRST	MCV600	57200	0.4956439
FIRST	MCV800	61600	0.9049826
FIRST	MCV1000	68200	0.4944851
HYUNDAI	SPTV550D	110000	0.1018644

Firma için en uygun

Uygun Makineleri Listele Veri Tabanı Temizle ve Çık

Şekil 3. Küçük hacimli parçalar için uygulama sonuçları

Form1

Kriter Ağırlıkları

1-) Tabla Alanı Gereksinimini Giriniz Min: 1000000 mm² Max: 2000000 mm² 9

2-) İş Mili Hızı Gereksinimini Giriniz Min: 9000 dev/dk Max: 12000 dev/dk 7

3-) İş Mili Güç Gereksinimini Giriniz 14 kw 4

4-) Maksimum İş Parçalarının Ağırlıklarını Giriniz 2000 kg 9

5-) İhtiyaç Duyulan Maksimum Takım Boyunu Giriniz 355 mm 5

6-) X,Y,Z Eksen gereksinimlerini Giriniz x: 300 mm y: 300 mm z: 300 mm

7-) İhtiyaç Duyulan En Büyük Takım Çapını Giriniz 80 mm 1

8-) İhtiyaç Duyulan Takım Sayısını Giriniz 20 adet 2

9-) İhtiyaç Duyulan Opsiyonel Özellikler

Talaş Konveyörü

Takım Ölçme Sistemi

3 Eksenli Tezgah Döner Tabla Gereksinimi

10-) İhtiyaç Duyulan Eksen Sayısını Seçiniz

3 - Eksen

Uygun Makinelerin Listesi

Marka	Model	Fiyat	Ağırlık
MAZAK	VTC200C	167200	0.6498098
MAZAK	VTC300C	170500	0.7071081
CHALLENGER	VMC1600	77000	0.449803
FADAL	VMC6030	104500	0.5502839
FADAL	VMC8030	132000	0.6230055

Uygun Makineleri Listele Veri Tabanı Temizle ve Çık

Şekil 4. Orta hacimdeki parçalar için uygulama sonuçları

Firma yetkilisi ile yapılan değerlendirme sonucu orta hacimli parçalar dikkate alınarak girilen veriler ışığında, program bize MAZAK VTC 200C,300C; CHALLENGER VMC, FADAL VMC 6030 ve 8030 tezgâhlarını önermektedir. Firma yaptığı ön değerlendirmeler sonucunda MAZAK VTC300C tezgâhını satın almayı düşünmektedir. Program sonuçlarından görüldüğü gibi MAZAK VTC300C de önerilen tezgâhlar arasındadır. Program firmanın kendisi için uygun olduğunu düşündüğü tezgâhla beraber alternatif seçenekleri de sunabilmiştir. Firma MAZAK VTC300C yanı sıra FADAL VMC8030 tezgâhını da değerlendirmeye alabilir.

4.3. Orta hacimli parçalar için 5 eksenli işleme merkezi seçimi

Firmanın orta hacimli parçaları 5 eksenli bir işleme merkezinde işlemek istemesi durumuna göre veriler girildiğinde Şekil 5'deki sonuç elde edilmektedir.

Firma yetkilisi ile yapılan değerlendirme sonucu orta boyutlu parçalar için girilen veriler ışığında, hazırlanan program MAKINO A61-71 XR ve MAKINO MDC1216-5XA tezgâhlarını öncelikli olarak önermiştir.

4.4. Büyük hacimdeki parçalar için işleme merkezi seçimi

Firma halihazırda HARDFORD PRO3000 tezgâhını satın almış ve kullanmaktadır. Ancak yaptığı seçimin uygun olup olmadığını test etmek istemektedir. Dolayısıyla bu uygulamada firmanın büyük hacimdeki parçaları işlemek istemesi durumunu dikkate alarak girilen veriler doğrultusunda programdan Şekil 6'daki gibi bir sonuç elde edilmiştir. Büyük hacimli parçalar için girilen veriler ışığında program; SIGMA, FIRST, AWEA, HARDFORD marka tezgâhları ekrana yansıtmaktadır. Şekil 6'dan da görüldüğü gibi firmanın satın aldığı tezgâh olan HARDFORD HALLMARK PRO 3000 önerilen tezgâhlar arasındadır. Program, firmaya TOPSIS puanı 0,851 ve fiyatı daha uygun olan FIRST MVC200BT50 işleme merkezini de tavsiye edilebilmiştir.

4.5. Çok büyük hacimli parçalar için işleme merkezi seçimi

Firmanın çok büyük hacimli parçaları işlemek istemesi durumu göz önünde bulundurularak veriler girildiğinde programdan Şekil 7'deki sonuç elde edilmektedir. Çok büyük hacimli parçalar için girilen veriler ışığında program AWEA LP3025 markasını önermiştir. Ancak puanları sırasıyla 0,9017 ve 0,8374 olan SIGMA SDV3224 ve AWEA LDP 3025 işleme merkezleri de firmaya önerilebilir.

Form1

Kriter Ağırlıkları

1-) Tabla Alanı Gereksinimini Giriniz Min : 200000 mm² Max : 6000000 mm² 9

2-) İş Mili Hızı Gereksinimini Giriniz Min : 5000 dev/dk Max : 30000 dev/dk 7

3-) İş Mili Güç Gereksinimini Giriniz 15 kw 6

4-) Maksimum İş Parçalarının Ağırlıklarını Giriniz 30000 kg 8

5-) İhtiyaç Duyulan Maksimum Takım Boyunu Giriniz 355 mm 4

6-) X,Y,Z Eksen gereksinimlerini Giriniz x : 600 mm y : 600 mm z : 500 mm

7-) İhtiyaç Duyulan En Büyük Takım Çapını Giriniz 150 mm 2

8-) İhtiyaç Duyulan Takım Sayısını Giriniz 20 adet 3

9-) İhtiyaç Duyulan Opsiyonel Özellikler

Talaş Konveyörü

Takım Ölçme Sistemi

3 Eksenli Tezgah Döner Tabla Gereksinimi

10-) İhtiyaç Duyulan Eksen Sayı **5 - Eksen** **5 eksenli uygun tezgâhlar**

5 Eksen İhtiyacınız İçin A ve C Eksen Gereksinimlerini Giriniz

A : 30 derece

C : 20 derece

Uygun Makinelerin Listesi

Marka	Model	Fiyat	Ağırlık
MAKINO	a61-5xr	280000	0.9046404
MAKINO	a71-5xr	285600	0.9999993
MAKINO	MAG3	400000	0.440504
MAKINO	MCC2516-VG	310000	0.2638335
MAKINO	MCC3016-VG	315680	0.3909048
MAKINO	MCD 1216-5XA	245000	0.8497745
GILDEMEISTER	DMU 210 P	450000	0.6179036
MAZAK	VARIAXIS 630/5X	240000	0.563869
MAZAK	VARIAXIS 730/5X	245000	0.5226417
MAZAK	VARIAXIS 630/T	235000	0.5009083

Uygun Makineleri Listele **Veri Tabanı Temizle ve Çık**

Şekil 5. Orta hacimli parçalar için 5 eksenli tezgah seçimi uygulama sonuçları

Form1

Kriter Ağırlıkları

1-) Tabla Alanı Gereksinimini Giriniz Min: 2000000 mm² Max: 5000000 mm² 9

2-) İş Mili Hızı Gereksinimini Giriniz Min: 5000 dev/dk Max: 15000 dev/dk 6

3-) İş Mili Güç Gereksinimini Giriniz 15 kw 6

4-) Maksimum İş Parçalarının Ağırlıklarını Giriniz 20000 kg 8

5-) İhtiyaç Duyulan Maksimum Takım Boyunu Giriniz 350 mm 5

6-) X,Y,Z Eksen gereksinimlerini Giriniz x: 1000 mm y: 800 mm z: 600 mm

7-) İhtiyaç Duyulan En Büyük Takım Çapını Giriniz 200 mm 4

8-) İhtiyaç Duyulan Takım Sayısını Giriniz 15 adet 3

9-) İhtiyaç Duyulan Opsiyonel Özellikler

Talaş Konveyörü

Takım Ölçme Sistemi

3 Eksenli Tezgah Döner Tabla Gereksinimi

10-) İhtiyaç Duyulan Eksen Sayısı Seçiniz

3 - Eksen

Firma için uygundur

Firmanın satın almış olduğu tezgah

5 Eksen İhtiyacınız İçin A ve C Eksen Gereksinimlerini Giriniz

A: 0 mm

C: 0 mm

Uygun Makinelerin Listesi

Marka	Model	Fiyat	Ağırlık
SIGMA	SDV2219	195800	0.5952264
SIGMA	SDV3215	218900	0.4488949
FIRST	MCV2000BT50	138600	0.8159106
AWEA	SP2016	144100	0.4886399
AWEA	SP3016	146300	0.3889419
AWEA	SP2016HSS	385000	0.4901781
AWEA	SP3016HSS	407000	0.3842703
AWEA	VP2012HSS	352000	0.5590675
HARTFORD	PRO2000	143000	0.6539351
HARTFORD	PRO3000	154000	0.7322749

Uygun Makineleri Listele

Veri Tabanı Temizle ve Çık

Şekil 6. Büyük hacimdeki parça için uygulama sonuçları

Form1

Kriter Ağırlıkları

1-) Tabla Alanı Gereksinimini Giriniz Min: 5000000 mm² Max: 20000000 mm² 9

2-) İş Mili Hızı Gereksinimini Giriniz Min: 6000 dev/dk Max: 15000 dev/dk 6

3-) İş Mili Güç Gereksinimini Giriniz 18 kw 6

4-) Maksimum İş Parçalarının Ağırlıklarını Giriniz 20000 kg 8

5-) İhtiyaç Duyulan Maksimum Takım Boyunu Giriniz 355 mm 5

6-) X,Y,Z Eksen gereksinimlerini Giriniz x: 2000 mm y: 2000 mm z: 500 mm

7-) İhtiyaç Duyulan En Büyük Takım Çapını Giriniz 200 mm 4

8-) İhtiyaç Duyulan Takım Sayısını Giriniz 20 adet 3

9-) İhtiyaç Duyulan Opsiyonel Özellikler

Talaş Konveyörü

Takım Ölçme Sistemi

3 Eksenli Tezgah Döner Tabla Gereksinimi

10-) İhtiyaç Duyulan Eksen Sayısı Seçiniz

3 - Eksen

Çok büyük parça işlemek için en uygun tezgahlar

5 Eksen İhtiyacınız İçin A ve C Eksen Gereksinimlerini Giriniz

A: 0 mm

C: 0 mm

Uygun Makinelerin Listesi

Marka	Model	Fiyat	Ağırlık
SIGMA	SDV3224	247500	0.901737
SIGMA	SDV4224	302500	0.6040711
SIGMA	SDV5224	330000	0.355618
SIGMA	SDV5229	357500	0.08615557
AWEA	LP3025	165000	0.8374506
AWEA	LP4025	170500	0.5509068
AWEA	LP5025	187000	0.2697593
AWEA	LP6025	264000	0.07887714
AWEA	LP3021	159500	0.9999434
AWEA	LP4021	198000	0.7748821
AWEA	LP5021	209000	0.5194315

Uygun Makineleri Listele

Veri Tabanı Temizle ve Çık

Şekil 7. Çok büyük hacimli parça için uygulama sonuçları

5. SONUÇ

İmalat firmaları için birçok alternatif arasından işe uygun işleme merkezini seçmek önemli bir karar verme problemidir. Geliştirilen karar destek sisteminde işleme merkezi seçiminde TOPSIS yöntemi kullanılmıştır. Program ile işleme merkezi seçimi yapılırken pratik uygulamalar dikkate alınarak kriterler ağırlıklandırılmıştır.

Çalışmada ön eleme modülü ile öncelikle veri tabanından işe uygun tezgâhlar çağırılmakta, ardından TOPSIS yöntemiyle kendi aralarında sıralanmaktadır. Ayrıca seçim kriterlerinin ağırlıkları kullanıcı tarafından değiştirilebilir nitelikte olduğu için program farklı önceliklere göre işleme merkezi seçimi yapmaya uygun bir niteliktedir. Programın güncelliğini koruması için son çıkan işleme merkezlerinin verilerinin veri tabanına girilmesi gerekmektedir. Geliştirilen karar destek sistemi; işe uygun işleme merkezlerini belirleyebilmekte ve karar verme süresini kısaltmaktadır.

Bu çalışma, sadece yatay ve dikey işleme merkezlerini kapsamaktadır. İleriki dönemlerde yapılacak çalışmalarda işleme merkezleri gibi yaygın kullanılan tornalama merkezleri, taşlama merkezleri ve alışılmamış imalat yöntemlerine yönelik tezgâhları da içeren daha kapsamlı bir karar destek sistemi geliştirilebilir.

A DECISION SUPPORT SYSTEM THAT CAN BE USED IN SELECTION OF MACHINING CENTER FOR SMALL AND MEDIUM SIZE ENTERPRISES

With the globalization of business, competitive economy, developments on computer, electronic and mechanical technology the firms are forced to buy new machining centers. Selecting a machining center that will be used in a manufacturing facility is a difficult and complex decision making problem. It has to take into account of wide varying properties of the machine tools and the parts that will be machined. In this study, a decision support system was developed by considering practical applications to help the decision maker to select machining center. Suitable machining centers are selected from the database according to answers of the user to the questions.

Keywords: Machining Centers, CNC, Manufacturing, Small and Medium Size Enterprises, TOPSIS.

TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteklerini esirgemeyen firmaya ve yöneticilerine teşekkür ederler. Firma isteği doğrultusunda firma bilgileri çalışmada gizli tutulmuştur.

KAYNAKÇA

1. Huang, B., Li, C., Yin, C., Zhao, X. Cloud manufacturing service platform for small- and medium-sized enterprises. *Int J Adv Manuf Technol*, 65,(2013)1261–1272.
1. 2.İç, Y.T., Yurdakul, M. A Decision Support System for Selection of Machining Centers. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 23(1),(2008), 85-95.
2. Lin, Z-C., Yang C-B. Evaluation of machine selection by the AHP method. *J Mater Proc Technol* 57(1996)253–258.
3. Çimren E, Budak E, Çatay B. Development of a machine tool selection system using analytic hierarchy process. In: Teti R (ed.), *Proc of the 4th CIRP International Seminar on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, Sorrento, Italy, pp 193–198 (2004).
4. Oeltjenbruns H., Kolarik W.J., Schnadt-Kirschner R. Strategic planning in manufacturing systems- AHP application to an equipment replacement decision. *Int J Prod Econ* 38(1995)189–197.
5. Tabucanon M.T., Batanov D.N., Verma D.K. Intelligent Decision Support System (DSS) for the selection process of alternative machines for flexible manufacturing systems (FMS). *Comput Ind* 25(1994)131–143.
6. Yurdakul M. AHP as a strategic decision-making tool to justify machine tool selection. *J Mater Proc Tech* 146 (2004) 365–376
7. Sun S. Assessing computer numerical control machines using data envelopment analysis. *Int J Prod Res* 40(9), (2002) 2011–2039
8. Wang T.Y., Shaw C-F., Chen Y-L. Machine selection in flexible manufacturing cell: a fuzzy multiple attribute decision making approach. *Int J Prod Res* 38(9),(2000)2079–2097
9. Yurdakul, M., İç, Y.T. Analysis of the benefit generated by using fuzzy numbers in a TOPSIS model developed for machine tool selection problems. *Journal of Materials Processing Technology*, 209(1), (2009) 310–317.

10. Yurdakul, M., İç, Y.T. Application of correlation test to criteria selection for multi criteria decision making (MCDM) models. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 40(3-4), (2009), 403–412.
11. İç, Y.T., Yurdakul, M. Development of a decision support system for machining center selection”, *Expert Systems With Applications*, 36(2), (2009) 3505–3513.
12. Arslan M.C., Catay B., Budak E. Decision support system for machine tool selection. In: Baykasoglu A, Dereli T (eds.) *Proc ICRM–2002, 2nd International Conference on Responsive Manufacturing*, University of Gaziantep, Turkey, pp 752–757, (2002).
13. İç, Y.T., Yurdakul, M., Eraslan, E. Development of a Component Based Machining Center Selection Model using AHP”. *International Journal of Production Research*. 50(22), 2012, 6489–6498.
14. Atmani, A. Lashkari, R.S., A model of machine-tool selection and operation allocation in Flexible Manufacturing System. *International Journal of Production Research*, 36(5), (1998)1339-1349.
15. Gerrard, W. Selection Procedures Adopted by Industry for Introducing New Machine Tools. *Advances in Manufacturing Technology III, Proc. Fourth Natl. Conf. on Production Research*, Kogan Page, London, (1988), 525- 536.
16. Haddock, J. and Hartshorn, T. A., “A Decision Support System for Specific Machine Selection”, *Computers and Industrial Engineering* 16(2), 1989, 277-286.
17. Chakraborty, S., Boral, S. A developed case-based reasoning system for machine tool selection. *Benchmarking: An International Journal*, 24(5), (2017)1364-1385.
18. Penga, C., Dua, H., Liao, T.W. A research on the cutting database system based on machining features and TOPSIS. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 43,(2017) 96–104
19. Hwang, C. L., Yoon, K. *Multiple attributes decision making methods and applications*. Berlin: Springer, (1981).

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 karşılaşırlarsa 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 yüklemelilerdir.. 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 bulunduğ il verilmelidir. Ayrıntılı görev ve adres ise ayrı bir kağıtta ve yazarların kısa özgeçmişleri ile birlikte belirtilmelidir.

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

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

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

Başlıklar

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

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

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

Ara Başlıklar: Yalnız birinci harfleri büyük harfle yazılmalıdır.

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