

# MÜHENDİS VE MAKİNA

ENGINEER AND MACHINERY

ISSN 1300-3402 E-ISSN 2667-7520



tmmob makina mühendisleri odası yayın organı

[www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina)

- EV TİPİ BİR BUZDOLABININ ANALİTİK İNCELEMESİ VE TASARIM PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ
- İMPLANT-ÇİMENTO ARAYÜZEYİNİN KESME DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ
- MARDİN İLİNİN HAYVANSAL GÜBRE KAYNAKLI BİYOGAZ POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ
- COVID19 PANDEMİSİNİN HAVACILIK SEKTÖRÜ ÜZERİNE ETKİLERİ
- FARKLI MESAFELİ VE ÜÇLÜ-ÇAPRAZ YERLEŞTİRİLMİŞ ÇATISIZ BİNALAR ETRAFINDAKİ AKIŞ ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ
- PERFORMANS ÖLÇÜTLERİNE DAYALI BAKIM YÖNETİM MODÜLÜNÜN İŞ SÜREÇLERİ YÖNETİMİ YAKLAŞIMI İLE MODELLENMESİ
- PLM KULLANIMI İLE ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİNDE ETKİN BİLGİ AKIŞININ SAĞLANMASI
- ÜNİVERSİTE BİNALARININ ENERJİ PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ: MCBÜ KÖPRÜBAŞI MESLEK YÜKSEKOKULU ÖRNEĞİ
- MANYETİK LEVİTASYON SİSTEMLERİ İÇİN AĞIRLIKLI GEOMETRİK MERKEZ YÖNTEMİ İLE PI-PD KONTROLÇÜ TASARIMI
- ENDÜSTRİ 4.0 VE 3 BOYUTLU YAZICILARIN KARŞILAŞTIRILMASI
- YÜK KAPASİTESİ ŞASE YAPISINDAN BAĞIMSIZ BİR OTONOM MOBİL ROBOT TASARIMI VE DAYANIM ANALİZİ
- TİG KAYNAĞI İLE GERÇEKLEŞTİRİLEN SERT DOLGU SIRASINDA OLUŞAN ARTIK GERİLME VE DEFORMASYONLARIN MODELLENMESİ



tmmob makina mühendisleri odası  
*uctea chamber of mechanical engineers*

[www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina)

# Mühendis ve Makina

Engineer and Machinery

**Cilt 62**

Volume 62

**Sayı 704**

Number 704

**Temmuz-Eylül 2021**

July -September 2021

# TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

Yerel Süreli Yayın, Üç Ayda Bir Yayımlanır  
Local Periodical - Quarterly

**Temmuz-Eylül / July-September 2021**

**Cilt / Vol: 62 Sayı / No: 704**

## **Yönetim Yeri / Head Office**

Meşrutiyet Cad. No: 19/6 Kızılay - ANKARA  
Tel: (+90 312) 425 21 41 Fax: (+90 312) 417 86 21  
E-posta: yayin@mno.org.tr www.mno.org.tr

## **MMO Adına Sahibi**

Publisher  
Yunus YENER

## **Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**

Executive Editor  
Yunus YENER

## **Yayın Sekreteri**

Editorial Secretary  
Ceren YILMAZ ARAS

## **Editör / Editorial in Chief**

*Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK*

## **Editör Yardımcıları / Associate Editors**

Prof. Dr. L. Berrin ERBAY - *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Eskişehir Osmangazi University*  
Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ - *Çankaya Üniversitesi / Çankaya University*

## **Yayın Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board**

- Prof. Dr. C. Erdem İMRAK - *İstanbul Teknik Üniversitesi / Istanbul Technical University, İstanbul*  
Prof. Dr. Erdiñç KALUÇ - *Kocaeli Üniversitesi / Kocaeli University, İzmit*  
Prof. Dr. Ali GÜNGÖR - *Ege Üniversitesi / Ege University, İzmir*  
Prof. Dr. Hikmet RENDE - *Akdeniz Üniversitesi / Akdeniz University, Antalya*  
Prof. Dr. Ali PINARBAŞI - *Yıldız Teknik Üniversitesi / Yıldız Technical University, Antalya*  
Prof. Dr. Sedat BAYSEÇ - *Gaziantep Üniversitesi / Gaziantep University, Gaziantep*  
Prof. Dr. E. İlhan KONUKSEVEN - *Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Middle East Technical University, Ankara*  
Prof. Dr. Erol KILIÇKAP - *Dicle Üniversitesi / Dicle University, Diyarbakır*  
Prof. Dr. Mustafa YURDAKUL - *Gazi Üniversitesi / Gazi University, Ankara*  
Prof. Dr. Atilla BIYIKOĞLU - *Gazi Üniversitesi / Gazi University, Ankara*  
Prof. Dr. Mirosław BONEK - *Silesian University of Technology, Poland*  
Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU - *Karadeniz Teknik Üniversitesi / Karadeniz Technical University, Trabzon*  
Prof. Dr. Leszek A. DOBRZANSKI - *Silesian University of Technology, Poland*  
Prof. Dr. Ö. Altan DOMBAYCI - *Pamukkale Üniversitesi / Pamukkale University, Denizli*  
Prof. Dr. Halim GÜRGENCI - *Queensland Üniversitesi / The University of Queensland, Australia*  
Prof. Dr. Hyung-Man Kim - *Power System and Sustainable Energy Laboratory (PSSEL), South Korea*  
Prof. Dr. Basim AL-NAJJAR - *Linnaeus University, Sweden*  
Prof. Dr. Barış ÖZERDEM - *İzmir Ekonomi Üniversitesi / Izmir University of Economics, İzmir*  
Prof. Dr. Melih Cemal KUŞHAN - *ESOGÜ / Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir*  
Doç. Dr. Tunç APATAY - *Gazi Üniversitesi / Gazi University, Ankara*  
Doç. Dr. Yiğit TAŞCIOĞLU - *TED Üniversitesi / TED University, Ankara*  
Dr. Öğr. Üye. Nurdan BİLGİN - *Ondokuz Mayıs Üniversitesi / Ondokuz Mayıs University, Samsun*  
Dr. Öğr. Üye. Kutluk Bilge ARIKAN - *TED Üniversitesi / TED University, Ankara*  
Dr. Varlık ÖZERCİYES - *AIRBUS, UK*

### **Yayın Kurulu / Editorial Board**

- Prof. Dr. Metin AKKÖK - *Orta Doğu Teknik Üniversitesi / Middle East Technical University, Ankara*  
Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ - *Çankaya Üniversitesi / Cankaya University, Ankara*  
Prof. Dr. L. Berrin ERBAY - *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi / Eskişehir Osmangazi University, Eskişehir*  
Prof. Dr. Cemal MERAN - *Pamukkale Üniversitesi / Pamukkale University, Denizli*  
Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK - *Pamukkale Üniversitesi / Pamukkale University, Denizli*  
Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA - *Trakya Üniversitesi / Trakya University, Edirne*  
Dr. Öğr. Üye. Gurbet ÖRÇEN - *Dicle Üniversitesi / Dicle University, Diyarbakır*

### **Kapak ve Sayfa Tasarımı**

Cover and Page Design  
Muazzez POLAT

### **Teknik Sorumlu**

Technical Manager  
Mehmet AYDIN

### **Baskı**

Printed by  
Ankamat Matbaacılık Sanayi Ltd. Şti.  
30. Cadde 538. Sokak No: 60 İvedik Organize Sanayi - Ankara  
Tel: (+90 312) 394 54 94  
Basım Tarihi: 25 Eylül 2021  
Baskı Sayısı: 1.000



# Mühendis ve Makina

*Engineer and Machinery*

**Cilt 62**

Volume 62

**Sayı 704**

Number 704

**Temmuz-Eylül 2021**

July-September 2021

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Araştırma/Research	<b>Ev Tipi Bir Buzdolabının Analitik İncelemesi ve Tasarım Parametrelerinin Elde Edilmesi</b>	<b>395</b>
	<i>Analytical Examination of a Household Refrigerator and Obtaining Design Parameters</i>	
	<b>Merve AKKAYA, Ünal ÇAMDALI</b>	
Araştırma/Research	<b>İmplant-Çimento Arayüzeyinin Kesme Dayanımını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi</b>	<b>415</b>
	<i>Investigation of Factors Affecting Shear Strength of Implant-Cement Interface</i>	
	<b>Sait KOÇAK, Tezcan ŞEKERCİOĞLU</b>	
Araştırma/Research	<b>Mardin İlinin Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi</b>	<b>429</b>
	<i>Determination of Biogas Potential from Animal Manure in Mardin Province</i>	
	<b>Süleyman ATILĞAN, Adem YILMAZ</b>	
Araştırma/Research	<b>COVID19 Pandemisinin Havacılık Sektörü Üzerine Etkileri</b>	<b>446</b>
	<i>The Effect of COVID19 Pandemic on Aviation Industry</i>	
	<b>Berke HOPANCI, Hamza AKDENİZ, Özlem ŞAHİN</b>	
Araştırma/Research	<b>Farklı Mesafeli ve Üçlü-Çapraz Yerleştirilmiş Çatısız Binalar Etrafındaki Akış Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi</b>	<b>468</b>
	<i>Experimental Research of Flow Characteristics Around Buildings without Roof Placed Different Distance and Triple-Diagonal</i>	
	<b>Deniz GÖLBAŞI, Ertan BUYRUK, Koray KARABULUT</b>	
Araştırma/Research	<b>Performans Ölçütlerine Dayalı Bakım Yönetim Modülünün İş Süreçleri Yönetimi Yaklaşımı ile Modellenmesi</b>	<b>486</b>
	<i>Modelling Performance Criteria Based Maintenance Management Module by Using Business Process Management Approach</i>	
	<b>Leyla Özgür POLAT, Aşkın GÜNGÖR</b>	
Değerlendirme/Review	<b>PLM Kullanımı ile Ürün Geliştirme Sürecinde Etkin Bilgi Akışının Sağlanması</b>	<b>513</b>
	<i>Ensuring Effective Information Flow by Using PLM in Product Development Process</i>	
	<b>Gamze SARI, Sami SAYER</b>	

- Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği** 534  
*Energy Performance Evaluation of University Buildings: MCBU Köprübaşı Vocational School Example*  
**Ali Murat ATEŞ, Özer KESTANE, Koray ÜLGEN**

- Manyetik Levitasyon Sistemleri İçin Ağırlıklı Geometrik Merkez Yöntemi ile PI-PD Kontrolcü Tasarımı** 556  
*PI-PD Controller Design for Magnetic Levitation Systems Via Weighted Geometrical Center Method*  
**Cem ONAT, Mahmut DASKİN, Abdullah TURAN, Ömerülfaruk ÖZGÜVEN**

- Endüstri 4.0 ve 3 Boyutlu Yazıcıların Karşılaştırılması** 580  
*Industry 4.0 and Comparison Of 3D Printers*  
**Ahmet Fatih YURAN, İbrahim YAVUZ**

- Yük Kapasitesi Şase Yapısından Bağımsız Bir Otonom Mobil Robot Tasarımı ve Dayanım Analizi** 607  
*Design and Strength Analysis of an Autonomous Mobile Robot Chassis Structure Independent of the Load Capacity*  
**Alaattin E. GÜRKAL, Alpaslan Burak İNNER, Eylül ÖZER, Ali KİBAR**

- TİG Kaynağı ile Gerçekleştirilen Sert Dolgu Sırasında Oluşan Artık Gerilme ve Deformasyonların Modellenmesi** 620  
*Modeling of Residual Stresses and Deformations During Hardfacing by Gtaw*  
**Atilla SAVAŞ**

---

TMMOB Makina Mühendisleri Odası Yayın Organı olan Mühendis ve Makina dergisi TMMOB Makina Mühendisleri Odası üyelerine ücretsiz olarak gönderilir. 1957 yılından beri yayımlanan dergimiz, **hakemli** bir dergidir. Dergimizle ilgili detaylı bilgi almak için [www.mmo.org.tr](http://www.mmo.org.tr) genel ağ adresinden yararlanabilirsiniz. Telefon, faks veya e-posta aracılığıyla da bize ulaşabilirsiniz.

---

*Dergimizin yer aldığı veritabanları*



## SUNUŞ

Değerli Meslektaşlarımız Merhaba,

Mühendis ve Makina dergimizin bu sayısındaki ilk makale **Merve Akkaya, Ünal Çamdalı**'nin "Ev Tipi Bir Buzdolabının Analitik İncelenmesi ve Tasarımı" başlıklı makalesidir. Bu çalışmada, ev tipi bir buzdolabının analitik incelemesi yapılmıştır. Bu bağlamda buzdolabının soğutma yükü hesaplanmış, ana ve yardımcı elemanları seçilmiş ve tasarlanan buzdolabının enerji tüketim değeri de belirlenmiştir. Soğutma yükünü meydana getiren; iletim (transmisyon) ısı yükü, ürün ısı yükü, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ve diğer ısı yüklerinin, buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölümlerinde oluşturdukları etkiler hesaplanmıştır. Ayrıca, soğutma yükünü oluşturan; her bir ısı yükünün, toplam soğutma yüküne olan etkisi ortaya konmuştur. Toplam soğutma yükünün, iletim ısı yükü % 39,85'ini, ürün ısı yükü %25,90'ını, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ise %20,74'ünü oluşturduğu görülmüştür. Geriye kalan %13,51'i de diğer yükler oluşturmaktadır. Çalışmada literatürdeki değerler, TSE EN 62552 standartı ile birlikte ülkemizde buzdolabı üretimini gerçekleştiren bir firmanın, kullandığı yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmanın sonunda da söz konusu bilgiler ile buzdolabının enerji tüketimi göz önüne alınarak enerji sınıfının A++ olduğu belirlenmiştir.

İkinci makalemiz **Sait Koçak, Tezcan Şekercioğlu**'nin "İmplant-Çimento Arayüzeyinin Kesme Dayanımını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi" adlı çalışmasıdır. Çimentolu kalça implantı bağlantılarında görülen en önemli hasarlardan biri aseptik gevşemedir. Aseptik gevşemede kemik-çimento ve çimento-implant arayüzeylerinde ayrılmalar meydana gelebilmektedir. Arayüzeylerde ne kadar dayanıklı bağlantılar elde edilebilirse o kadar uzun ömürlü cerrahi operasyonlar gerçekleştirilmiş olur. Çimento-implant arayüzeylerinde baskın olan gerilme, kesme gerilmesidir. Bu çalışmada pin-halka test yönteminden faydalanılarak çimento-implant arayüzeyinin kesme dayanımı araştırılmıştır. Ayrıca implant malzemesinin, yüzey pürüzlülüğünün ve çimento manto kalınlığının değişmesi ile arayüzey kesme dayanımında meydana gelen değişimler incelenmiştir. İmplant malzemesi olarak implant üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan titanyum alaşımı ve paslanmaz çelik malzemeler kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü değerleri farklı boyutlarda alüminyumoksit taneleri ile kumlama sonucunda elde edilmiştir. Delrinden imal edilen farklı iç çap ölçülerine sahip burçlar ile farklı manto kalınlıkları elde edilmiştir. Elde edilen bulgular; yüzey pürüzlülüğünün artması ile arayüzey kesme dayanımının arttığını, titanyum alaşımı malzemenin daha yüksek arayüzey bağlantısı sağladığını ve ideal manto kalınlığının 2-3 mm arasında olduğunu göstermektedir.

Üçüncü makalemiz, **Süleyman Atılğan, Adem Yılmaz**'ın "Mardin İlinin Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi" adlı çalışmasıdır. Sera gazlarının salınımı ve küresel ısınma, yeryüzündeki normal döngüleri ve iklim koşullarını etkilemektedir. Bu nedenle hem normal döngüleri ve iklim koşullarını etkilemesi hem de fosil yakıtların azalması yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Biyogaz kalkınmayı artırmak için önemli bir enerji kaynağıdır. Büyükbaş ve küçükbaş hayvan gübresinden biyogaz üretilmesi, bu gübrelerin değerlendirilmesinin en iyi yollarından biridir. Bu araştırmanın amacı Mardin ilinde bulunan hayvansal gübrelerden oluşabilecek biyogaz üretim potansiyelini belirlemektir. Çalışmada Mardin ili genelinde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarının sayıları Mardin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 2019 yılı verilerinden alınmış olup, 128.897 adet büyükbaş, 937.854 adet küçükbaş ve 1.974.809 adet kanatlı hayvanının varlığı tespit edilmiştir. Hesaplamalarda elde edilen verilere göre büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarından oluşabilecek yıllık gübre miktarı hesaplanmış ve 1.163.972,798 ton gübreden 56.778.608,24 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilebileceği ve elde edilen biyogazdan yıllık 266.859.488,7 kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği hesaplanmıştır.

Dördüncü makalemiz **Berke Hopancı, Hamza Akdeniz ve Özlem Şahin**'in "COVID19 Pandemisinin Havacılık Sektörü Üzerine Etkileri" adlı makalesidir. Çin'den bütün dünyaya yayılan COVID19 hastalığı hava taşımacılık sektörünü de diğer alanlarda olduğu gibi derinden sarsmış ve havacılık sektörünü büyük çapta etkilemiştir. Salgının önüne geçmek için ülkeler tarafından sınırları kapatmaya varan geniş tedbirler uygulanmış, bu tedbirlerle birlikte yolcu talebinde ciddi oranda düşüş yaşanmıştır. Salgının en etkili olduğu ve hastalık hakkında henüz çok fazla bilgiye sahip olunmayan Mart-Haziran ayları arasında dünya geneli hava trafiğinde önceki dönemlere göre %90'lara varan düşüş yaşanmış, dünya üzerindeki uçuşlar neredeyse durma noktasına gelmiştir. Bu ciddi düşüş sonrası havacılık sektörünün bütün paydaşları ve havacılık sektöründe çalışan personel olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu çalışmada, COVID19 salgınının Türk havacılık sektöründe hava trafiği, hava yolu şirketleri ve havalimanlarına etkileri irdelenecek, ayrıca uçuşları daha emniyetli hale getirmek üzere alınan önlemlerden bahsedilecek ve havacılık sektörünün toparlanma süreci hakkında ilerideki süreçlerde nasıl bir yol izleneceği hakkında yapılan tahminler incelenecektir.

Beşinci makalemiz, **Deniz Gölbashi, Ertan Buyruk ve Koray Karabulut**'un "Farklı Mesafeli ve Üçlü-Çapraz Yerleştirilmiş Çatısız Binalar Etrafındaki Akış Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi" isimli makalesidir. Çalışmada, üçlü-çapraz yerleştirilmiş ve binalar arası mesafenin 7.5 cm ve 10 cm olduğu 5cmx5cmx5cm boyutlarında çatısız binalar etrafındaki akış yapıları deneysel olarak Parçacık Görüntüleme Hız Ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, çatısız bir binanın etrafındaki akış analizi daimi, üç boyutlu,  $k-\epsilon$  türbülans modeli ANSYS Fluent programıyla sayısal olarak yapılmış ve ulaşılan sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, akım çizgisi  $\langle \psi \rangle$  ve hız vektörleri  $\langle V \rangle$  dağılımları çizilmiş ve ortalama eşdeğer hız eğrileri farklı binalar arası mesafeler için araştırılmıştır. 7.5 cm'lik mesafeye göre, 10 cm'lik mesafede jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış bölgesinin küçüldüğü belirlenmiştir. Bununla birlikte, deneysel ve sayısal sonuçlar arasında en fazla % 3'lük bir farklılık bulunmuştur.

Altıncı makalemiz, **Leyla Özgür Polat, Aşkın Güngör**'ün "Performans Ölçütlerine Dayalı Bakım Yönetim Modülünün İş Süreçleri Yönetimi Yaklaşımı ile Modellenmesi" isimli makalesidir. Günümüzde işletmelerin ürünlerine uygun fiyat vermeleri, ürün teslimatlarını zamanında yapmaları ve kalite konusunda güvenilir olmaları rekabet düzeylerinin temel göstergeleri arasındadır. Rekabetçiliğin sağlanmasında ve korunmasında bakım önemli bir destek sürecidir. Üretim ve hizmet sektöründe bakım faaliyetleri, fiziksel altyapıyı hazır ve nitelikli tutarak üretim faaliyetlerin devamlılığının sağlanması, maliyetlerin indirgenmesi ve müşteri potansiyelinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle bakım süreçlerinin yönetim, planlama ve izleme aşamalarının bilişim teknolojileriyle desteklenerek etkin bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında iş süreç yönetimi (İSY) ve iş süreç yeniden mühendisliği (İSYM) gereği mevcut durumda manuel olarak yürütülen süreçlerin bilgi teknolojileri ile desteklenerek yeniden tasarlanması sonucu kurumsal kaynak planlama (KKP) sistemlerine entegre çalışacak bakım modüllerine yönelik tasarım gereksinimleri ortaya konulmuştur. Bakım faaliyetlerinin verimliliğini arttırmak ve izlemeyi kolaylaştırmak amacıyla, iş modellemesi IBM Business Modeler programı ve iş süreç yönetimi simgeleri kullanılarak, sistem performans göstergelerini de dikkate alan bir bakım yönetim sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sunulan sistem önerisinin, bakım süreçlerini, dijitalleşme kapsamında bilişim teknolojilerine dayalı geliştirmek ve kurumsal kaynak yönetimi yazılımlarına entegre etmek amacıyla sahip başta imalat sektörü olmak üzere birçok kuruluş için katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Yedinci makalemiz, **Gamze Sarı, Sami Sayer**'in "PLM Kullanımı ile Ürün Geliştirme Sürecin-

de Etkin Bilgi Akışının Sağlanması” isimli makalesidir. Bilgi sınırları olmayan bir kavramdır. Günümüzde teknolojinin hızlı ilerleyişi ile sürekli değişmekte ve gelişmektedir. Herhangi bir bilginin yorumlanması ile meydana gelen bilgi ise anlamlı bilgidir ve bilginin en gelişmiş halidir. Anlamlı bilgi içerisinde kişisel tecrübe ve deneyimleri de barındırmaktadır. Günümüzde artan rekabet koşulları ile iş organizasyonları için çevrelerinde meydana gelen değişikliklere hızlı adapte olma, yeni ürün geliştirme ve geliştirilen yeni ürünü rakiplerinden önce piyasaya sürerek pazarda yer edinebilmeleri iş devamlılığının sağlanması için gereklidir. Değişime kolay uyum sağlamak ise değişen bilgiye kolay ulaşmak ve bu bilgiyi özümsemek ile mümkün olabilmektedir. Bu bilgi aktarımı sırasında geçmişte var olan anlamlı bilgilerin kaybolmaması iş organizasyonları için fırsatlar meydana getirmektedir. Bu çalışmada; öncelikle bilgi ve bilgi yönetimi kavramları, bu kavramlara ilişkin yapılan çalışmalar ve yaklaşımlar incelenmiştir. Daha sonra şirketlerde meydana gelen bilgi akışı ve bu bilgi akışının yeni ürün geliştirme sürecine etkisine değinilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Lifecycle Management, PLM) kullanımı ile bilgi yönetiminin ürün geliştirme sürecindeki etkisi ve şirketlere sağladığı avantajlar değerlendirilmiştir.

Sekizinci makalemiz, **Ali Murat Ateş, Özer Kestane ve Koray Ulgen**’in “Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği” isimli makalesidir. Enerjide dışa bağımlılığın giderek arttığı ülkemizde en yoğun tüketim bina sektöründe olmaktadır. Bu sebeple binalarda enerji verimliliğini artıracak çözümlerin bir an önce uygulamaya geçmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan bu çalışma kapsamında, Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde hizmet veren Köprübaşı Meslek Yüksekokul binası irdelenerek enerji tasarruf performansı araştırılmıştır. Binanın mevcut durumunun davranışını belirlemek amacıyla yıl boyunca ölçümler yapılarak enerji kullanım düzeyi belirlenmiştir. Daha sonra önerilen iyileştirmeler sonucunda nasıl bir enerji tasarrufu sağlayacağını belirlemek amacıyla, bilgisayar tabanlı enerji modellemesi yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak, binanın enerji tasarruf potansiyeli ve iyileştirme sonucunda nasıl bir davranış göstereceği hesaplanmıştır. Hem ölçüm verilerinden hem de modellemeden elde edilen veriler doğrultusunda, mevcut bina yıllık bazda, 90,40 kWh/m<sup>2</sup> yıl enerji tüketirken, önerilen iyileştirmeler sonucunda 55,54 kWh/m<sup>2</sup> yıl enerji tüketir hale gelmiştir. Yani, yaklaşık %40 oranında enerji tasarrufu sağlama potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Binanın mevcut durumdaki kullanım düzeyine göre sera gazı emisyonu 74,90 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerinde iken, önerilen iyileştirmeler ve bina çatısında hâlihazırda mevcut olan FV-GES’in desteğiyle bu değer 12,61 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerine kadar düşeceği hesaplanmıştır.

Dokuzuncu makalemiz, **Cem Onat, Mahmut Daşkın, Abdullah Turan, Ömerülfaruk Özgüven**’in “Manyetik Levitasyon Sistemleri İçin Ağırlıklı Geometrik Merkez Yöntemi ile PI-PD Kontrolcü Tasarımı” isimli makalesidir. Manyetik levitasyon sistemleri, mühendislik sistemlerinde sürtünmeyi en aza indiren çözümler sunduğundan, güncel mühendislik çalışmalarına tabidirler. Bu çalışmada, yeni bir PI-PD kontrolcü tasarım prosedürü sunulmuştur. PI-PD kontrolcülere, bir PI (iç çevrim) ve bir PD (dış çevrim) kombinasyonundan oluşur. İç çevrimin amacı, açık çevrim kararsız sistemi kararlı kalmaktır. Dış çevrimin amacı, kapalı çevrim sisteminin toplam performans gereksinimlerini sağlamaktır. Tasarım prosedürü, kontrolcü parametreleri düzleminde kararlılık sınırı eğrisi kullanılarak çizilen kararlı bölgenin elde edilmesine ve bu bölgenin ağırlıklı geometrik merkezinin (AGM) hesaplanmasına dayanır. Tasarım prosedüründe, ilk olarak, iç çevrim için PD kontrolcü parametrelerinin düzlemindeki kararlı bölge ve bunun ağırlıklı geometrik merkezi hesaplanır. İç çevrim, belirtilen AGM kontrol parametreleri kullanılarak tek bir bloğa indirgenir ve ardından prosedür, farklı tasarımlarda faz ve kazanç marjı performans gereksinimlerini



uygulayan bir test fonksiyonu kullanılarak dış çevrim PI denetleyicisi için tekrarlanır. Deneysel çalışma, önerilen metodoloji ile tasarlanan PI-PD kontrolcünün literatürde bulunan alternatiflere göre daha üstün performans sergilediğini göstermektedir.

Onuncu makalemiz, **Ahmet Fatih Yuran, İbrahim Yavuz**'un "Endüstri 4.0 ve 3 Boyutlu Yazıcıların Karşılaştırılması" isimli makalesidir. Endüstri devrimi olarak bilinen üretim teknolojilerinde yaşanan üç devrimsel gelişme toplumu önemli ölçüde etkilemiştir. Bu devrimler; ilk makinelerin hayatımıza girmesi endüstri 1.0, elektriğin üretim araçlarında kullanımı endüstri 2.0, otomasyonun yaygınlaşması endüstri 3.0 olarak tanımlanabilir. Günümüzde ise 3B yazıcılar ile birlikte endüstri 4.0 tartışılmaktadır. Bu çalışmada endüstri 4.0 yolunda önemli bir yeri olan 3B yazıcılar üzerine kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Mevcut 3B yazıcı teknolojileri hakkında derlenen bilgiler sunulmuştur. 2015 ve 2020 yılları arasında 3B yazıcılarla yapılmış olan dikkat çekici çalışmalardan örnekler sunulmuştur. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde 3B yazıcıların; otomotiv, biyomedikal, uzay ve havacılık gibi alanlarda öne çıktığı görülmektedir. Gelecekte önemli yer tutacak olan 3B yazıcı teknolojileri başlı başına bir çalışma konusu olmanın yanı sıra farklı disiplinlerdeki araştırmacılar için önemli bir araç olacaktır.

On birinci makalemiz, **Alaattin Gürkal, A. Burak İner, Eylül Özer ve Ali Kibar**'ın "Yük Kapasitesi Şase Yapısından Bağımsız Bir Otonom Mobil Robot Tasarımı ve Dayanım Analizi" isimli makalesidir. Bu çalışmada operatör ve sürücüye ihtiyaç duymadan otonom bir şekilde fabrika ve endüstriyel tesislerde yükün bir yerden alınarak başka bir yere taşınması işlevini gerçekleştiren Otonom Mobil Robot (OMR)'nin tasarım ve analizi yapılmıştır. OMR'lerin özellikle operatör ve sürücüye ihtiyaç duymaması gibi özellikleri onlara geniş bir kullanım alanı sağlamıştır. Bu çalışma için özgün bir OMR tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan OMR'nin 1000, 1500 ve 2000 kg yük altında meydana gelen deformasyon ve gerilme analizi yapılmıştır. Tasarım gerçekleştirilirken OMR'nin taşıyıcı şasesinde meydana gelen deformasyon ve gerilmenin yükten bağımsız olması özelliği düşünülmüştür. Elde edilen analiz sonuçları ile tasarımın bu özelliği sağladığı simülasyon yardımıyla ispatlanmıştır. Her üç yük için de analiz sonuçlarında şasenin dayanımı yaklaşık aynı çıkmıştır. Böylece, taşıyıcı şasenin boyutları ve yapısından bağımsız olan ve yalnızca taşıyıcı tekerlerin toplam kapasitesi kadar yük taşıyabilen bir OMR elde edilmiştir.

On ikinci ve son makalemiz, **Atilla Savaş**'ın "Tig Kaynağı İle Gerçekleştirilen Sert Dolgu Sıra-sında Oluşan Artık Gerilme ve Deformasyonların Modellenmesi" isimli makalesidir. Set dolgu prosesi her türlü çelik için aşınma direncini arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Kaynak yöntemiyle yapılan sert dolgu prosesinde plakalarda deformasyon ve artık gerilmelerin oluştuğu bilinmektedir. Bunların en aza indirilmesi için çeşitli paternler sayısal bir çalışmayla incelenmiştir. Kaynak yöntemi olarak TIG kaynağı seçilmiştir. Sert dolgu kaynak dikişleri seyrek olarak plakaların üzerine uygulanmıştır. Seyrek kaynak dikişleri ile paternlerdeki deformasyon ve artık gerime eğilimleri hesaplanabilmektedir. Sayısal model ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Kaynak prosesinin ısı girdisi hesabı çift elipsoid hareketli ısı kaynağı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Dikdörtgen plakalarda enine kaynak dikişlerinin daha küçük deformasyon ve artık gerilmelere neden olduğu tespit edilmiştir.

Dergimize [www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina) ve <https://dergipark.org.tr> adresinden ulaşabilir; makale ve görüşleriniz ile destek olabilirsiniz.

Bir sonraki sayımızda buluşmak üzere...

**TMMOB Makina Mühendisleri Odası  
Yönetim Kurulu**

## PRESENTATION

Dear Colleagues,

The first article published in our journal *Engineer and Machinery* is the article titled “Analytical Examination of a Household Refrigerator and Obtaining Design Parameters” by **Merve Akkaya, Ünal Çamdali**. In this study, an analytical study of a household refrigerator was achieved. In this context, the cooling load of the refrigerator was calculated, the main and auxiliary components were chosen and the energy consumption value of the designed refrigerator was also determined. Creating the cooling loads; the effects of transmission heat load, product heat load, infiltration (air exchange) heat load and other heat loads on the cooler and freezer sections of the refrigerator were calculated. Besides, the effect of each heat load, forming the cooling load, on the total cooling load has been demonstrated. It has been observed that the conduction (transmission) heat load constitutes 39.85% of the total heat load, the product heat load 25.90%, and the infiltration heat load 20.74%. The remaining heat loads constitute 13.51%. In this study, the values in the literature and the methods used by a company that manufactures refrigerators in our country together with the TSE EN 62552 standard were taken into consideration. At the end of the study, taking into account the energy consumption of the refrigerator, it was determined that the energy class was A ++.

The our second article is titled “Investigation of Factors Affecting Shear Strength of Implant-Cement Interface” by **Sait Koçak, Tezcan Şekercioglu**. One of the most important failure in cemented hip replacement is aseptic loosening. Separation may occur at the bone-cement and cement-implant interfaces because of aseptic loosening. The more durable connections can be obtained at the interfaces; the longer surgical operations are performed. The predominant stress at cement-implant interfaces is shear stress. In this study, the shear strength of the cement-implant interface was investigated by using the pin-collar test method. In addition, changes in interfacial shear strength with changes in implant material, surface roughness and cement mantle thickness were investigated. Titanium alloy and stainless-steel materials widely used in implant manufacturing, were used as implant materials. Surface roughness values were obtained by sandblasting with different sized aluminium oxide grains. Different mantle thicknesses have been achieved with the bushes with variable inner diameter sizes made of Delrin. The results show that with the increase in surface roughness, the interface shear strength increases, the titanium alloy material provides higher interface connection, and the ideal mantle thickness is between 2-3 mm.

The our third article is titled “Determination of Biogas Potential from Animal Manure in Mardin Province” by **Süleyman Atılğan, Adem Yılmaz**. Greenhouse gas emissions and global warming affect normal cycles and climate conditions on earth. For this reason, both the impact of normal cycles and climate conditions and the decline of fossil fuels lead to renewable energy sources. Biogas is an important source of energy to increase development. Bovine and ovine manure biogas production is one of the best ways to evaluate this manure. The aim of this research is to determine the biogas production potential that may occur from animal manures in Mardin province. In the study, the numbers of bovine, ovine and poultry animals in Mardin province were taken from the data of Mardin Provincial Directorate of Agriculture and Forestry in 2019 and the presence of 128.897 bovine, 937.854 ovine and 1.974.809 poultry animals were determined. According to the data obtained in the calculations, annual manure amount that can occur from bovine, ovine and poultry animals has been calculated, and it has been calculated that 56.778.608,24 m<sup>3</sup> of biogas could be obtained from 1.163.972.798 tons of manure and 266.859.488,7 kWh of electrical energy could be obtained from the resulting biogas.



The our fourth article is titled “The Effect of COVID19 Pandemic on Aviation Industry” by **Berke Hopancı, Hamza Akdeniz and Özlem Şahin**. The COVID19 disease, which spread from China to the whole world, has impacted the air transportation industry as well as other sectors. In order to limit the spread of COVID19, wide measures have been implemented by governments, including closing borders. This has caused a significant decrease in the passenger demand. Between March and June, when the pandemic was the most effective, air traffic worldwide experienced a decrease of up to 90% compared to previous periods. In this study, the impact of the COVID19 outbreak on the aviation industry will be examined in terms of air traffic, airlines and airports. In addition, the measures taken by governments, airports and airlines to make flights safer will be mentioned and the predictions made about the future scenarios about the recovery process will be investigated.

The our fifth article is titled “Experimental Research of Flow Characteristics Around Buildings without Roof Placed Different Distance and Triple-Diagonal” by **Deniz Gölbaşı, Ertan Buyruk and Koray Karabulut**. In study, flow structures around buildings placed triple-diagonal and 7.5 cm and 10 cm distances between buildings with dimensions of 5cmx5cmx5cm without roof were investigated as experimental by using Particle Image Velocimetry (PIV) technique. Besides, flow analysis vicinity one building without roof as numerical with ANSYS Fluent program having steady, three dimensional,  $k-\epsilon$  turbulence model was done and the attained results were matched with these of experimental. In the work, distributions of streamline  $\langle\psi\rangle$  and velocity vectors  $\langle V\rangle$  were drawn and average equivalent velocity curves were researched for different distances between buildings. It was determined that jet flow region fairly enlarged at 10 cm distance according to distance of 7.5 cm and flow separation area around building placed as diagonal shrank. However, it was found that there is at most a 3% differences between experimental and numerical results.

The our sixth article is titled “Modelling Performance Criteria Based Maintenance Management Module by Using Business Process Management Approach” by **Leyla Özgür Polat, Aşkıner Güngör**. Today, offering the best price, meeting delivery due dates and being trustworthy for quality are among competitiveness' indicators for companies. To keep competitiveness at a high level, maintenance serves as an important support process. Maintenance activities in manufacturing and service sector, by keeping the physical capacity ready and reliable, play an important role in sustaining production, reducing cost, and keeping customers happy. Therefore, maintenance operations like management, planning and monitoring need to be carried out efficiently with the support of information technologies. In this study, design requirements are described for maintenance modules integrated in enterprise resource planning (ERP) systems as a result of the redesign of the processes that are currently carried out manually using business process management (BPM) and business process reengineering (BPR) supported by information technologies. To increase the efficiency of the maintenance activities and to facilitate monitoring, maintenance management system is designed considering system performance indicators by using the IBM Business Modeler program and business process management notation (BPMN). The proposed system will contribute to many companies primarily in manufacturing whose aim is to improve maintenance processes in the context of digitalization and integrating them into enterprise resource planning software.

The our seventh article is titled “Ensuring Effective Information Flow by Using PLM in Product Development Process” by **Gamze Sari, Sami Sayer**. Knowledge is a concept without boundaries. Today it is constantly affected and developed with the rapid advance of technology. The meaningful information is created by the use and evaluation of information process. It

is the most advanced form of information. It includes personal knowledge and experiences within meaningful information. With today's increasing competition conditions, it is necessary for business organizations should be adapt quickly to changes in their environment. They should develop new products and to gain a place in the market by launching them before their competitor in order to ensure business continuity. Adapting easily to change is possible by smoothly accessing and understand changing information. During the information transfer, it provides opportunity that keep meaningful information which already existed for business organizations. In this study; firstly, the concepts of knowledge and knowledge management studies and approaches related to these concepts were examined. Then, the information flow that occurs in companies and the effect of this information flow on the new product development process are mentioned. In the last part of the study, the effect of Product Lifecycle Management (PLM) and information management on product development process and the advantages it provides to companies are evaluated

The our eighth article title "Energy Performance Evaluation of University Buildings: MCBU Köprübaşı Vocational School Example" by **Ali Murat Ateş, Özer Kestane and Koray Ulgen**. In Turkey, where foreign dependency in energy is increasing, the most intensive consumption is in the building sector. For this reason, solutions that will increase energy efficiency in buildings should be implemented as soon as possible. Within the scope of this study, created for this purpose, the energy saving performance was investigated at the Köprübaşı Vocational School building serving within the Manisa Celal Bayar University. In order to determine the behaviour of the current state of the building, the level of energy use was determined by making measurements throughout the year. Then, computer-based energy modelling was carried out to determine how to save energy as a result of the proposed improvements. Based on the data obtained as a result of the simulation, the energy saving potential of the building and how it will behave as a result of the improvement have been calculated. In line with the data obtained from both measurement data and modelling, while the current building consumed  $90.40 \text{ kWh/m}^2$  year on an annual basis, it became  $55.54 \text{ kWh/m}^2$  year as a result of the proposed improvements. In other words, it has been determined that it has the potential to save energy approximately 40%. While the greenhouse gas emission is  $74.90 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{year}$  according to the current usage level of the building, it has been calculated that this value will decrease to  $12.61 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{year}$  with the support of the proposed improvements and PV-SPP currently available on the building roof.

The our ninth article title "PI-PD Controller Design for Magnetic Levitation Systems Via Weighted Geometrical Center Method" by **Cem Onat, Mahmut Daşkın, Abdullah Turan, Ömerülfaruk Özgüven**. Since magnetic levitation systems offer solutions that minimize friction in engineering systems, they are subject to current engineering studies. In this study, a new PI-PD controller design procedure has been presented. A PI-PD controller consists of a combination of a PI (inner loop) and a PD (outer loop). The purpose of the inner loop is to stabilize the open loop unstable system. The purpose of the outer loop is to provide the total performance requirements of the closed loop system. The design procedure is based on obtaining the stability area plotted using the stability boundary curve in the control parameters plane, and then calculating the weighted geometrical center (WGC) of the stability region. In the design procedure, first, the stable region in the plane of the PD controller parameters for the inner loop and its weighted geometrical center are computed. The inner loop is reduced to a single block by using specified WGC control parameters, and then the procedure is repeated for the outer loop PI controller by using of a test function imposing the phase and gain margin performance

requirements in different designs. Experimental study shows that the PI-PD controller, which is designed with the suggested methodology, exhibits superior performance compared to the alternatives available in the literature.

The our tenth article title “Industry 4.0 and Comparison Of 3D Printers” by **Ahmet Fatih Yuran, İbrahim Yavuz**. Three revolutionary developments in production technologies known as the industrial revolution have significantly affected the society. These revolutions; The introduction of the first machines into our lives can be defined as industry 1.0, the use of electricity in production tools as industry 2.0, and the widespread use of automation as industry 3.0. Today, industry 4.0 is discussed with 3D printers. In this study, a comprehensive evaluation has been made on 3D printers, which have an important place in the industry 4.0 road. Compiled information about current 3D printing technologies is presented. Examples of remarkable work done with 3D printers between 2015 and 2020 are presented. When the studies are evaluated, 3D printers; It is seen that it stands out in areas such as automotive, biomedical, space and aviation. 3D printer technologies, which will take an important place in the future, will be an important tool for researchers in different disciplines as well as being a subject of study in itself.

The our eleventh article title “Design and Strength Analysis of an Autonomous Mobile Robot Chassis Structure Independent of the Load Capacity” by **Alaattin Gürkal, A. Burak İner, Eylül Özer and Ali Kibar**. In this study, the design and analysis of Autonomous Mobile Robot (AMR) is investigated. These robots perform the function of loading the cargo in factories or industrial facilities autonomously without any need for an operator and driver. These features of AMR’s have provided them with a wide range of uses. An original AMR design was performed for this study. Deformation and stress analysis of AMR has been made at three loads including 1.000, 1.500, and 2.000 kg. While the design was performed, it was considered that the deformation and stress occurring in the carrier chassis of AMR were independent of the load. This feature of the design has been proven with the help of the simulation. The strength of the chassis was found to be approximately the same for all three loads in the analysis results. Therefore, AMR has been obtained that is independent of the dimensions and structure of the chassis. It can carry the total capacity of the carrier wheels.

The our twelfth and final article title “Modeling of Residual Stresses and Deformations During Hardfacing by Gtaw” by **Atilla Savaş**. Hardfacing process is a method used to increase the wear resistance for all kinds of steel. It is known that deformation and residual stress occur in the plates during the hardfacing process made by welding method. In order to minimize these, various welding patterns (welding seams) have been analyzed with a numerical study. TIG welding was chosen as the welding method. Hardfacing weld seams were sparsely applied on the plates. Deformation and residual stress tendencies in patterns can be calculated with sparse weld seams. The numerical model was created using ANSYS finite element software and validated with experimental results. The heat input of the welding process was calculated by using the double ellipsoid moving heat source method. It has been determined that transverse weld seams in rectangular plates cause smaller deformations and residual stresses

You can also view the journal on the web page [www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina) and support us with your articles and comments.

Best regards until our next issue...



# Ev Tipi Bir Buzdolabının Analitik İncelemesi ve Tasarım Parametrelerinin Elde Edilmesi

Merve Akkaya<sup>1</sup>, Ünal Çamdalı<sup>2\*</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada, ev tipi bir buzdolabının analitik incelemesi yapılmıştır. Bu bağlamda buzdolabının soğutma yükü hesaplanmış, ana ve yardımcı elemanları seçilmiş ve tasarlanan buzdolabının enerji tüketim değeri de belirlenmiştir. Soğutma yükünü meydana getiren; iletim (transmisyon) ısı yükü, ürün ısı yükü, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ve diğer ısı yüklerinin, buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölümlerinde oluşturdukları etkiler hesaplanmıştır. Ayrıca, soğutma yükünü oluşturan; her bir ısı yükünün, toplam soğutma yüküne olan etkisi ortaya konmuştur. Toplam soğutma yükünün, iletim ısı yükü % 39,85'ini, ürün ısı yükü %25,90'ını, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ise %20,74'ünü oluşturduğu görülmüştür. Geriye kalan %13,51'i de diğer yükler oluşturmaktadır.

Çalışmada literatürdeki değerler, TSE EN 62552 standardı ile birlikte ülkemizde buzdolabı üretimini gerçekleştiren bir firmanın, kullandığı yöntemler göz önünde bulundurulmuştur. Çalışmanın sonunda da söz konusu bilgiler ile buzdolabının enerji tüketimi göz önüne alınarak enerji sınıfının A++ olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Buzdolabı, soğutma yükü, soğutma tekniği, enerji sınıfı

## Analytical Examination of a Household Refrigerator and Obtaining Design Parameters

### ABSTRACT

In this study, an analytical study of a household refrigerator was achieved. In this context, the cooling load of the refrigerator was calculated, the main and auxiliary components were chosen and the energy consumption value of the designed refrigerator was also determined. Creating the cooling loads; the effects of transmission heat load, product heat load, infiltration (air exchange) heat load and other heat loads on the cooler and freezer sections of the refrigerator were calculated. Besides, the effect of each heat load, forming the cooling load, on the total cooling load has been demonstrated. It has been observed that the conduction (transmission) heat load constitutes 39.85% of the total heat load, the product heat load 25.90%, and the infiltration heat load 20.74%. The remaining heat loads constitute 13.51%.

In this study, the values in the literature and the methods used by a company that manufactures refrigerators in our country together with the TSE EN 62552 standard were taken into consideration. At the end of the study, taking into account the energy consumption of the refrigerator, it was determined that the energy class was A++.

**Keywords:** Refrigerator, cooling load, cooling technique, energy class

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 25.01.2021

Kabul/Accepted : 21.02.2021

<sup>1</sup> Yük. Müh., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara  
merveakkaya13@hotmail.com, ORCID: 0000-0003-0111-5240

<sup>2</sup> Prof. Dr., Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi,  
Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, unalcamdali@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2566-9945

## EXTENDED ABSTRACT

Refrigeration is a process of lowering the temperature and maintaining it in a given space for a purpose of chilling foods, preserving certain substances, or providing an atmosphere conducive to bodily comfort. Storing perishable foods, pharmaceuticals or other items under refrigeration is commonly known as cold storage.

Preparing for the investment plan and feasibility analysis must be first to design for a refrigerator. The location of a refrigerator, user requirements, and other design parameters must be determined. Also, calculation and investigation of heat and mass transfer are so important for choosing system components. Energy consumption is another important point in designing refrigerators. Energy consumption in homes has a significant share in total energy consumption. Refrigerators and freezers used in homes have an important place in domestic electrical energy consumption. Household applications constitute 29% of the total electrical energy consumption of the European Union countries in 2006, which includes 15 countries (EU-15). 14% of this energy was spent by refrigerators and freezers. The total amount of energy used by them was 102 TWh. In addition, in 12 countries (NMU-12) that joined the EU in 2004, 26% of the total electricity consumption was spent on domestic activities. 22% of this use was spent by the refrigerators. The energy amount used by the refrigerators used in these countries is determined as 19.4 TWh.

In this study, an analytical study of a domestic refrigerator was achieved. The design parameters in the literature of a two-compartment household refrigerator have been considered. The refrigeration load of a domestic refrigerator is calculated, design is accomplished by selecting the main and auxiliary parts of the refrigeration system. Also, energy consumption of the designed refrigerator is computed. The effects of the cooling load on the transmission heat load, infiltration (air change) heat load, maturation heat load and other heat loads on the cooler and freezer compartment were calculated. In addition, the effect of the heat loads on the total cooling load was investigated. After the analysing, it has been observed that the conduction (transmission) heat load constitutes 39.85% of the total heat load, the product heat load 25.90%, and the infiltration heat load 20.74%. The remaining heat loads constitute 13.51%.

In this study, the values in the literature and the methods used by a company that manufactures refrigerators in our country together with the TSE EN 62552 standard were taken into consideration. At the end of the study, taking into account the energy consumption of the refrigerator, it was determined that the energy class was A ++.



## 1. GİRİŞ

Üretim işlemi, farklı disiplinlerden mühendis ve diğer uzmanların bir araya gelerek planlama, tasarım ve imalat yöntemleriyle ortaya çıkardıkları bir ürünün, üretilmesi faaliyetidir [1]. Üretimde, gerekli olan enerjinin miktarı ve hangi kaynaklardan sağlandığı da dikkate alınmalıdır. Zira enerjinin miktarı ve verimliliği, yenilenemeyen özellikle de fosil esaslı enerji kaynaklarının azalmasında etkin rol oynamaktadır. Dolayısıyla enerji ihtiyacının karşılanmasında, yenilenebilir enerji kaynaklarının da kullanılması, günümüz dünyasında önem ifade etmektedir [2].

Enerji sadece üretim ile ilgili bir olgu değildir. Pek çok uygulamayı içine alan, yaşamsal bir değerdir. Gıda da tıpkı enerji gibi yaşamın sürdürülmesi konusunda en önemli unsurlardandır. Yaşamda gıdaların korunmasına yönelik olarak geliştirilen, soğutma faaliyetleri dikkate değerdir. Ayrıca söz konusu amaca hizmet eden, soğutma cihazlarının geçmişi oldukça eskidir. Tarihin bu noktada pek çok uygulamaları ve yenilikleri ortaya çıkardığı da bir gerçektir.

Soğutma, gıdaların düşük sıcaklığa getirilerek muhafaza edilmesi veya konfor koşulları için gerekli atmosfer koşullarının sağlanması ile ilgili süreçtir. Gıdaların, ilaçların veya diğer maddelerin soğutulması muhafaza edilmesi, genellikle soğuk depolama olarak bilinir [3].

Gıda ve diğer maddelerin soğuk olarak korunması veya depolanması amacıyla kullanılan, ev tipi buzdolaplarının uygulanabilirlik analizinin yapılması, tasarım için ilk adım olması açısından önemlidir [3]. Enerji tüketimi, buzdolabı tasarımındaki bir diğer önemli husustur. Çünkü konutlardaki enerji sarfıyatı, toplam enerji tüketiminde ciddi bir orana sahiptir. Evlerde kullanılan buzdolabı ve dondurucular, evsel enerji sarfıyatında dikkate değer yer tutmaktadır. 15 ülkenin yer aldığı (EU-15), Avrupa Birliği Ülkelerinin 2006 yılındaki toplam elektrik enerjisi tüketiminin, %29'unu evsel uygulamalar oluşturmuştur. Bu enerjinin %14'ü, soğutucu ve dondurucular tarafından harcanmıştır. Bunların kullandığı toplam enerji miktarı ise 102 TWh olarak gerçekleşmiştir. Ayrıca AB'ye 2004 yılında katılan, 12 ülkede (NMU-12) de toplam elektrik tüketiminin %26'sı, ev içi faaliyetlerde harcanmıştır. Söz konusu kullanımın %22'si de buzdolapları tarafından harcanmıştır. Buzdolaplarının kullandığı enerji miktarı ise 19,4 TWh olarak belirlenmiştir [4,5].

Akdemir, bir soğuk hava deposu için soğutma yükünü hesaplamış ve depodaki soğutma sisteminin ana elemanlarının seçimi ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur [3]. Sakallı, iki bölmeli bir buzdolabının, dondurucu bölmesinde, enerji tüketimine etki eden parametreleri, deneysel ve teorik olarak incelemiştir [5]. Avcı, buzdolaplarındaki tasarım parametrelerini, iç hacimdeki sıcaklık ve hava akış dağılımına bağlı olarak Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği ve Isı Transferi (HADIR) ile ANNs (Yapay Sinir

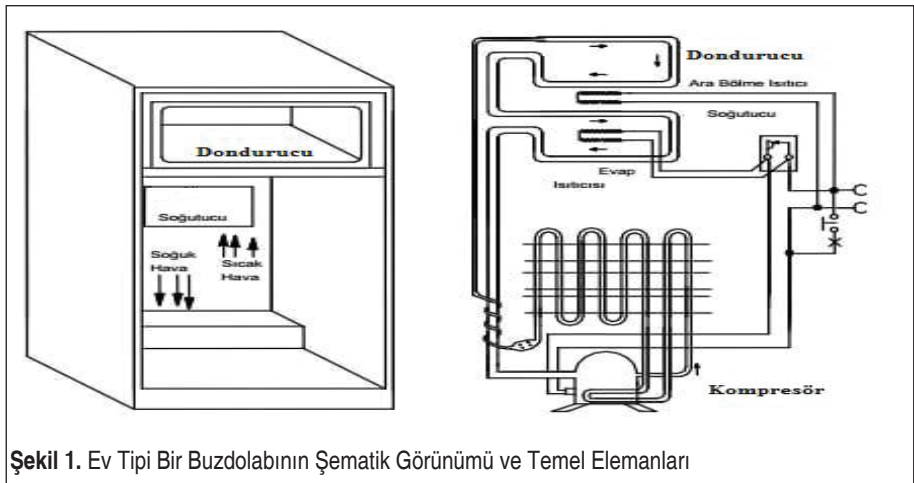


Ağları) tekniği kullanarak optimize etmiştir [6]. Odabaşı, buzdolabının kapağının açık olduğu süre içerisinde, buzdolabına olan ısı transferi ve akışın modelini, nümerik olarak gerçekleştirmiştir [7]. Ağakay, değişken devirli kompresörlerin, ev tipi bir buzdolabının performansına olan etkisini incelemiştir. Bu amaçla ISO 15502 standartlarına göre enerji tüketim testlerini gerçekleştiren, deneysel bir uygulama gerçekleştirmiştir [8]. Mutlu vd. elektrikli ev aletlerinin, enerji tüketimini karşılaştırmış ve onların enerji sınıflarının tespiti ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur [9].

Bu çalışmada ise ev tipi bir buzdolabının önce soğutma yükü hesaplanmış; daha sonra ana ve yardımcı parçaları seçilerek tasarımı yapılmış ve son olarak da tasarlanan buzdolabının enerji tüketim değeri belirlenerek enerji etiketi tespit edilmiştir. Hepsinden önemlisi de yapılan çalışmada, bir buzdolabının tasarımı için gerekli olan tasarım parametreleri ile birlikte enerji tüketiminin ve enerji etiketinin bulunması ile ilgili takip edilmesi gereken temel prensipler, ortaya konmaya çalışılmıştır. Literatürde dağınık şekilde olan söz konusu bilgiler, daha sistematik olarak verilmeye çalışılmıştır. Ayrıca buzdolabına konulan ürünlerin soğutma analizleri, hem standart malzemeler hem de seçilen ürünler esas alınarak karşılaştırılmalı olarak gerçekleştirilmiştir.

## 2. EV TİPİ BİR BUZDOLABININ TASARIM KRİTERLERİ

Soğutma, gıdaların soğutulmasından, alanların iklimlendirilmesine kadar çeşitli pratik uygulamaları içinde barındıran, önemli bir ısıl süreçtir [6]. Bir soğutma sisteminin asıl amacı, ısıyı düşük sıcaklıktaki ortamdaki, yüksek sıcaklıktaki ortama transfer etmektir. Soğutma amaçlı kullandığımız, ev tipi buzdolapları; buhar sıkıştırma soğutma çevrimi prensibiyle çalışır [10]. Şekil 1’de görüldüğü gibi buzdolapları genel



Şekil 1. Ev Tipi Bir Buzdolabının Şematik Görünümü ve Temel Elemanları

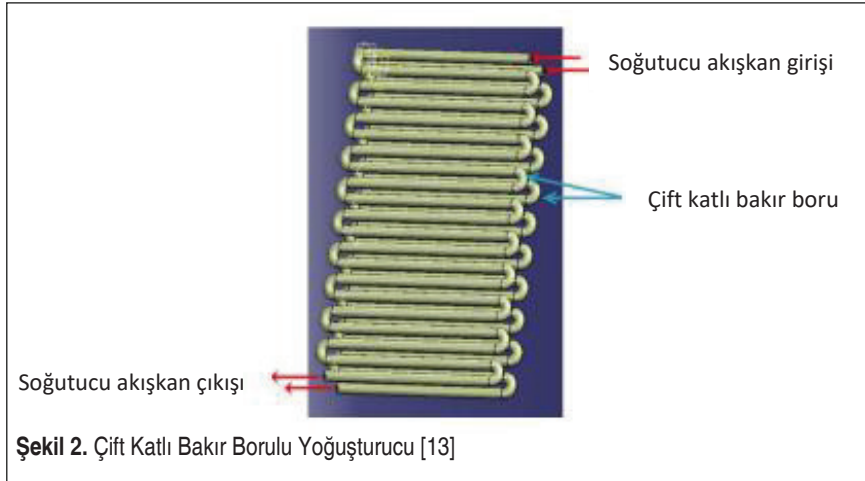




olarak kompresör, yoğuşturucu (kondenser), genişleme valfi ve buharlaştırıcı (evaporatör) gibi temel ünitelerden (elemanlardan) meydana gelmektedir.

Buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölümündeki ısı, soğutucu akışkanın çevrim boyunca kompresör vasıtasıyla dolaştırılmasıyla dış ortama transfer edilir [11]. Kompresör, buzdolabının soğutma kapasitesini gerçekleştirecek güçte olmalıdır. Bu yüzden kompresörün COP (tesir katsayısı) değeri, soğutucunun soğutma yüküne uygun olarak seçilmelidir.

Yoğuşturucu, soğutucu akışkanın ısısının dış ortama transfer edilmesini sağlayan ünitelerdir. Ev tipi buzdolaplarında kullanılan yoğuşturucular, genellikle 3/16" (4,76 mm) veya 1/4" (6,35 mm) çaplı içi ve dışı çift katlı bakır borulardan oluşur [12]. Çift katlı bakır borulardan oluşmuş örnek bir yoğuşturucu, Şekil 2'de gösterilmiştir [13].



Genleşme valfinin görevi, buharlaştırıcıya giren soğutucu akışkanın, kütle debisini ayarlayarak basıncını düşürmektir. Buzdolaplarında genleşme valfi olarak, kılcal boru kullanılmaktadır. Kılcal borunun yeri yoğuşturucu ile buharlaştırıcı arasındadır ve çapı ise 0,76-2,16 mm arasında değişmektedir [12]. Buharlaştırıcı ise soğutucu ve dondurucu bölümdeki gıdaların, soğutulması amacıyla bu bölümlerden çekilen ısının soğutkına transfer edildiği ünitelerdir [14].

Sistemdeki ana ünitelere ek olarak; evaporatör ve kondenser fanı ile aydınlatma cihazları gibi yardımcı elemanlar da kullanılmaktadır. Buharlaştırıcı yüzeyindeki sıcaklık, buzdolabının içine giren havanın çığ noktası sıcaklığından daha düşük olduğu için havadaki su buharının yoğuşup, buharlaştırıcı yüzeyinde donmasına neden olmaktadır. Bu duruma engel olmak için buz eritme cihazı da kullanılmaktadır [15]. Fan buzdolabının içindeki havanın sıcaklığının homojen olmasını sağlayarak; enerji

tüketiminin düşmesine destek verir [6]. Ayrıca yoğunlaştırucu fanı da ısı transferinin iyileşmesi noktasında enerji tüketiminin düşmesine destek vermektedir.

## 2.1 Buzdolabının Enerji Sınıfının Belirlenmesi

Buzdolaplarındaki enerji tüketim değeri, kompresörün enerji tüketimi ile diğer enerji tüketen cihazların, tüketim değerlerinin toplamından oluşmaktadır. Enerji sınıfının tanımlanması, buzdolabının enerji tüketimine göre belirlenmektedir. Buzdolaplarında A sınıfı, diğer enerji sınıflarından (B,C,D) daha az enerji tüketir. Bu bağlamda A+++ sınıfı, A++ sınıfından %33; A++ sınıfı, A+ sınıfından %21; A+ sınıfı ise A sınıfından %24 daha az enerji tüketmektedir [16]. Buzdolaplarındaki enerji sınıfı, Tablo 1’de verilen enerji verim indeksine göre tanımlanmaktadır.

**Tablo 1.** Enerji Verimlilik İndeksi (%), I [9]

Enerji Verimlilik İndeksi (%), I	Enerji Sınıfı
I <22	A+++
I <33	A++
I <42-44	A+
I <55	A
55 ≤ I < 75	B+

Enerji verim indeksi (I) aşağıdaki formüle göre hesaplanır ve yüzdesel (%) olarak ifade edilir [9].

$$I = \frac{E}{E_{st}} \quad (1)$$

$$E = P^{\text{düzeltilmiş}} \cdot 365 \quad (\text{kWh/yıl}) \quad (2)$$

$P^{\text{düzeltilmiş}}$  ise 24 saatteki enerji tüketimidir [17]

E yıllık enerji tüketimi (kWh/yıl) ve  $E_{st}$  standart yıllık enerji tüketimidir (kWh/yıl). Yıllık enerji tüketimi aşağıdaki formüle göre hesaplanır [9].

$$P^{\text{düzeltilmiş}} = P^{\text{ölçülen}} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{(25 - T_i) V_i}{(T_{aa} - T_i) V} \right] \quad (3)$$

$T_i$  nominal bölme sıcaklığı (°C) (standartta koşullara göre oluşturulmuş değerdir, örneğin 5 °C gibi),  $V_i$  bölmenin net hacmi (L),  $T_{aa}$  ölçülen ortamın sıcaklığı (°C), V toplam net hacimdir (L). Standart enerji tüketimi ise aşağıdaki formüle göre hesaplanır [9].

$$E_{st} = (M \cdot DH) + N \quad (4)$$



M ve N buzdolabı tipine bağlı olarak değişen katsayılarıdır ve değeri de Tablo 2’de verilmiştir. DH ise düzeltilmiş net hacimdir. Buzdolabının farklı bölmeleri, enerji tüketimini farklı şekillerde etkilediği için düzeltilmiş net hacim hesaplanmalıdır. Düzeltilmiş net hacim, buzdolabının farklı bölümlerini esas alarak tanımlanan ve aşağıdaki formüle göre belirlenen bir değerdir [9].

$$DH = V_c \cdot W_c \cdot F_c \cdot C_c \quad (5)$$

$V_c$  her bir bölmenin net hacmi (L),  $W_c = (25 - T_c) / 20$  (referanstan alınmış empiriksel değer),  $T_c$  her bir bölmenin tasarım sıcaklığı ( $^{\circ}C$ ),  $F_c$  bir faktör olup, zorlanmış hava dolaşımı olan bölümler için 1,2 ve diğer bölümler için 1 alınabilir.  $C_c$  tropikal iklim sınıfı için dikkate alınmalıdır. Buzdolabının kullanıldığı bölgenin özelliklerine göre değişen katsayıdır. Depolama yerleri için 1,35; taze gıda depolama bölümleri için ise 1,30 alınabilir [9].

**Tablo 2.** M ve N Katsayıları [9]

Buzdolabı	M	N
Ev tipi bir buzdolabı	0,233	245
Buzdolabı-soğutucu	0,233	245
Yıldızsız buzdolabı (en soğuk bölüm $> -6^{\circ}C$ )	0,233	245
Tek yıldızlı buzdolabı (en soğuk bölüm $\leq -6^{\circ}C$ )	0,643	191
İki yıldızlı buzdolabı (en soğuk bölüm $\leq -12^{\circ}C$ )	0,450	245
Üç yıldızlı buzdolabı (en soğuk bölüm $\leq -18^{\circ}C$ )	0,657	235
Buzdolabı-derin dondurucu (en soğuk bölüm $\leq -18^{\circ}C$ )	0,777	303
Dikey derin dondurucu	0,472	286
Yatay derin dondurucu	0,446	181

### 3. BUZDOLABININ SOĞUTMA YÜKÜ HESABI

Buzdolabında soğutma yükü hesaplanırken kaynaklardan gelen ısı yükleri göz önünde bulundurulmalıdır. Soğutma yükü; iletim (transmisyon) ısı yükü, ürün ısı yükü, hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü ve diğer ısı yükleri olarak dikkate alınmalıdır. Farklı koşullarda çalıştıkları için buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölmelerinin, soğutma yükleri, ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Isı yükleri ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

### 3.1 İletim (Transmisyon) Isı Yükü

Buzdolaplarındaki transmisyon ısı yükü; duvarlar, zemin ve tavandan iletimle transfer edilen ısı olarak belirlenebilir [5]. Transmisyon ısı yükü hesabının yapılması için buzdolabında kullanılan ve iletimi gerçekleştiren malzemeler ile yalıtım elemanlarının türü, kalınlıkları, fiziksel özellikleri, iç ve dış çevre sıcaklıkları gibi bilgilerin bilinmesi gerekmektedir [5]. Aşağıdaki eşitlikler, söz konusu ısı yükünün hesaplanmasında kullanılmaktadır [11].

$$Q_c = K A (\Delta T) \quad (6)$$

$Q_c$ , düz yüzeyden aktarılan ısı (W), K toplam ısı transfer katsayısı ( $W/m^2K$ ), A ısı transfer alanı ( $m^2$ ) ve  $\Delta T$  iç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkıdır. Toplam ısı transfer katsayısı aşağıda verilen eşitliğe göre hesaplanır.

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \sum \frac{\delta_i}{k_i} + \frac{1}{h_d} \quad (7)$$

Burada K'nın birimi ( $W/m^2K$ ),  $h_i$  iç yüzeydeki ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ ),  $\delta$  yüzey kalınlığı (m),  $k_i$  i tabakasının ısı iletim katsayısı ( $W/mK$ ),  $h_d$  dış yüzeyin ısı taşınım katsayısıdır ( $W/m^2K$ ).

### 3.2 Ürün Isı Yükü

Depolanan pek çok ürün, yapısında su barındırmaktadır. Soğuk depolama sırasında sıcaklığın düşmesi sonucunda, ortamdaki havanın içinde bulunan su buharının yoğuşması ile ürünün yapısındaki suyun donması gibi olgular meydana gelebilmektedir. Yapılarında su bulunan ortam ve ürünler, yoğuşma veya donma sırasında gizli ısılarını kaybederek ısı yükü oluşturur. Söz konusu ısı, ürün ısı olarak tanımlanır [5]. Ürün ısı, soğutma yükünün önemli kısımlarındandır [18].

Ürün ısını oluşturan diğer önemli bir ısı kaynağı da olgunlaşma ısıdır. Özellikle sebze ve meyveler, toplandıktan sonra yaşamsal faaliyetine devam eder. Muhafaza süreleri boyunca bazı kimyasal reaksiyonlardan kaynaklı olarak çevreye ısı yayarlar [5]. Bu olaya olgunlaşma ısı denir [11].

Ürün ısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir [18]:

Donma noktasının üzerindeki sıcaklıktaki bir ürünün, yine donma noktası üzerindeki daha düşük bir sıcaklığa kadar soğutulması için üründen uzaklaştırılan ısı:

$$Q_1 = m c_1 (T_1 - T_i) \quad (8)$$

Donma noktasının üzerindeki sıcaklıktaki bir ürünün, donma noktasına kadar soğutulması için üründen uzaklaştırılan ısı:



$$Q_2 = m c_1 (T_1 - T_f) \quad (9)$$

Bir ürünün dondurulması için üründen uzaklaştırılan ısı:

$$Q_3 = m h_{if} \quad (10)$$

Donma noktasındaki sıcaklıkta olan bir ürünün, daha düşük bir sıcaklığa soğutulması için üründen uzaklaştırılan ısı:

$$Q_4 = m c_2 (T_f - T_3) \quad (11)$$

Muhafaza sırasında oluşan olgunlaşma ısısı da aşağıdaki eşitlikten elde edilir [11]:

$$Q_{oi} = m C_{oi} \quad (12)$$

Yukarıdaki eşitliklerdeki soğutma yükleri  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  süre göz önünde bulundurularak (W) birimine dönüştürülür, m ürünün kütlesi (kg),  $c_1$  ürünün donma sıcaklığının üzerindeki özgül ısısı (kJ/kgK),  $c_2$  ürünün donma sıcaklığının altındaki özgül ısısı (kJ/kgK),  $T_1$  (donma noktasının üzerindeki) ürünün başlangıç sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_2$  ürünün donma noktasının üzerindeki sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_f$  ürünün donma sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_3$  ürünün donma noktasının altındaki sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $h_{if}$  ürünün gizli ısısı (kJ/kg),  $C_{oi}$ 'da ürünün olgunlaşma ısısıdır (kJ/kg h).

### 3.3 Hava Değişim (İnfiltrasyon) Isı Yükü

Hava değişimi, iç ve dış ortamdaki havanın, yoğunluk farkından oluşur. Buzdolabının kapağı her açıldığında, sıcak hava içeri girerek burada ek bir soğutmaya neden olmaktadır. Hava değişim ısı yükü, aşağıda gibi hesaplanabilir [18].

$$q_i = q \cdot D_i \cdot D_f (1 - E_d) \quad (13)$$

Burada q tam gelişmiş akış için duyulur ve gizli soğutma yükü,  $D_i$  kapı aralığı açık-zaman faktörü,  $D_f$  kapı aralığı akış faktörü,  $E_d$  ise kapı aralığını koruma cihazının etkinliğidir.  $E_d$  içeri sızan hava ile transfer edilen ısının bir ölçüsüdür.  $E_d$ 'nin 1 olması durumunda hava değişimi ile ısı transferi gerçekleşmez. Diğer durumlarda ise gerçekleşir.  $E_d$  yeni takılan şerit kapılar, hızlı katlanır kapılar ve tam kapanmayan kapılar için (ticari uygulamalarda) genel olarak 0,95 veya daha büyük değer alınabilir. Bununla birlikte, etkenlik değeri, kapının açılma sıklık derecesine ve bakımına bağlı olarak dondurucu girişlerinde 0,8; diğer kapılar için ise yaklaşık olarak 0,85 alınabilir. Korumaya elemanı olmayan geniş olarak açılan kapılarda ise bu değer 0 alınabilir [18].

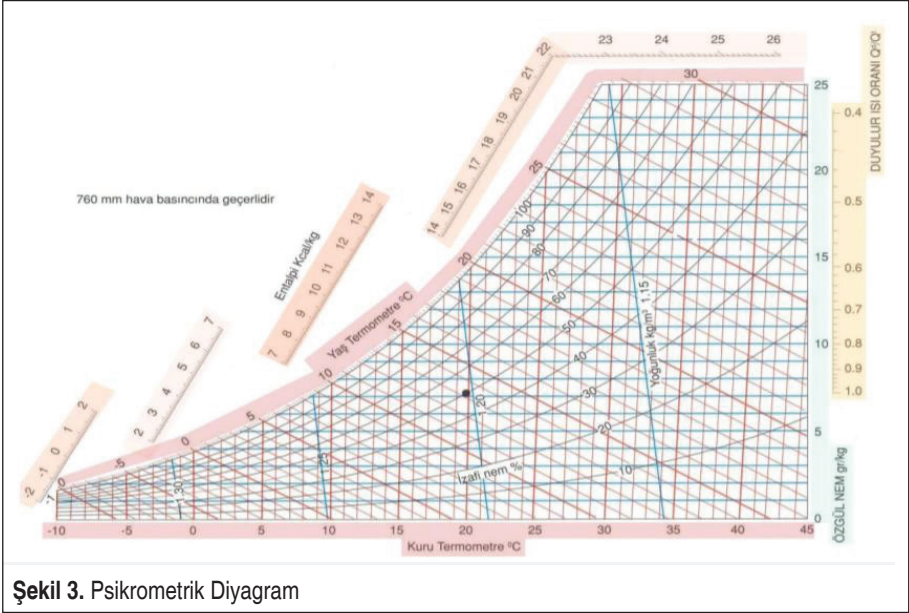
Duyulur ve gizli soğutma yükü aşağıdaki formüllerden hesaplanabilir [18].

$$q = 0,221A (h_i - h_r) \rho_r (1 - \rho_i/\rho_r)^{0,5} (gH)^{0,5} F_m \quad (14)$$

Burada A kapı aralığı alanı ( $\text{m}^2$ ),  $h_i$  içeri giren havanın entalpisi (kJ/kg),  $h_r$  soğutulan havanın entalpidir (kJ/kg). Şekil 3'te verilen psikrometrik diyagramdan veya hava

ile ilgili tablolardan yararlanılarak entalpi değerleri bulunabilir.  $\rho_i$  içeri giren havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $\rho_r$  soğutulan havanın yoğunluğu ( $\text{kg/m}^3$ ),  $g$  yerçekimi ivmesi ( $\text{m/s}^2$ ),  $H$  kapı aralığı yüksekliği (m) ve  $F_m$  yoğunluk faktörüdür. Yoğunluk faktörü aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanabilir [18].

$$F_m = \left( \frac{2}{1 + \left( \frac{\rho_r}{\rho_i} \right)^{\frac{1}{3}}} \right)^{1,5} \quad (15)$$



Şekil 3. Psikrometrik Diyagram

Kapı aralığı akış faktörü, aşağıdaki formüle göre hesaplanabilir [18].

$$D_f = \frac{(PQ_p + 60Q_o)}{3600Q_d} \quad (16)$$

$P$  kapı aralığı geçiş sayısı,  $Q_p$  kapının açık-kapanma zamanı (her geçiş başına, saniye),  $Q_o$  kapının açık olduğu süre (dakika),  $Q_d$  günlük (ya da diğer) zaman periyodu (saat).

Downing ve Meffert'e göre dış ortam ile buzdolabının iç ortamı arasındaki sıcaklık farkı  $11^\circ\text{C}$ 'den az olan akışkanlar için, tavsiye edilen akış faktörü ( $D_f$ ) 1,1 olarak alınabilir. Hendrix'e göre de daha büyük sıcaklık farkları için ( $16^\circ\text{C}$ ) ise 0,8 olarak alınabilir [18–20].



### 3.4 Diğer Isı Yükleri

Diğer ısı yükleri, buzdolabındaki buz çözme cihazı, aydınlatma cihazları ve fanın kaynaklanmaktadır. Bu cihazlar çalışırken daha fazla soğutmaya ihtiyaç duyulur. Dolayısıyla soğutma yükü hesaplanırken söz konusu cihazlar da dikkate alınmalıdır. Defrost cihazından, aydınlatmadan ve fanın dolaylı olarak oluşan ısı yükleri; sırasıyla Eşitlik 17 ve 18 göre hesaplanabilir [11].

$$Q_{Def} = n.P_d . ZO.F \quad (17)$$

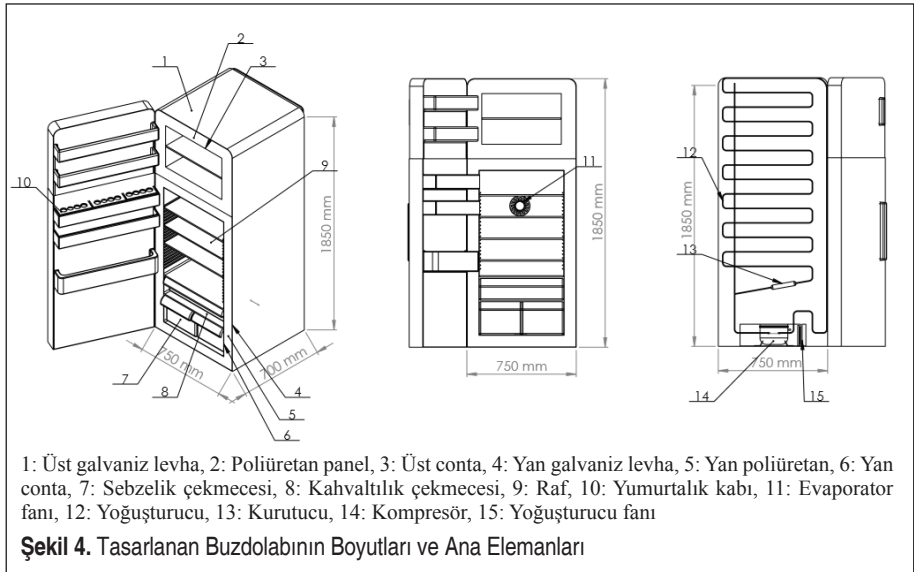
$$Q_L = n.P_d . ZO \quad (18)$$

n cihaz sayısı,  $P_d$  cihazın gücü (W), ZO (Zaman Oranı, saat/24 saat), F defrost faktörü (elektrikli defrostlar için 0,5 alınabilir).

## 4. SİSTEMİN TEMEL TASARIM PARAMETRELERİ

Literatürden alınan tasarım parametreleri ile bazı kabüller esas alınarak ev tipi bir buzdolabı, Şekil 4'te görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Buzdolabının ana dış yapısı; beyaz boyalı galvaniz levha, poliüretan panel ve contadan oluşmaktadır. Poliüretan panel, yalıtım için kullanılırken conta, buzdolabının sızdırmazlığının sağlanması için kullanılmaktadır. Poliüretan panelin kalınlığı, bölmenin iç sıcaklığına bağlı olarak seçilebilir [11]. Analiz için kullanılacak tasarım parametreleri, Tablo 3 ve 4'te verilmiştir.

Mutfak sıcaklığı ile buzdolabının soğutucu ve dondurucu bölme sıcaklıkları sırasıyla +25°C, +4°C ve -18°C olarak kabul edilmiştir. Buzdolabının soğutucu bölümünün



**Şekil 4.** Tasarlanan Buzdolabının Boyutları ve Ana Elemanları

kapısının, her bir açılışta açık kalma süresinin 10 saniye olduğu, açma kapama arasında 3 saniye zaman geçtiği ve günde 12 kez açılıp kapatıldığı; dondurucu bölüm kapısının ise her bir açılışta açık kalma süresinin 10 saniye olduğu, açma kapama arasında 3 saniye zaman geçtiği ve günde 10 kez açılıp kapatıldığı varsayılmıştır.

**Tablo 3.** Tasarlanan Buzdolabının Teknik Özellikleri [21-23]

Cinsi	Boyutları ve Özellikleri
Dış boyutlar (mm)	750x700x1850
İç toplam hacim(L)	≅ 459
Dış gövde	0,50 mm beyaz boyalı galvaniz levha
Yalıtım malzemesi	Poliüretan panel
Yalıtım malzemesi yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	42

**Tablo 4.** Tasarlanan Buzdolabının Soğutucu ve Dondurucu Bölmelerin Teknik Özellikleri [21-23]

Cinsi	Soğutucu Bölmesi	Dondurucu Bölmesi
Dış boyutlar (mm)	750x700x1300	750x700 x550
İç hacim (L)	≅ 363	≅ 96
İç sıcaklık (°C)	+4	-18
Dış gövde	0,50 mm beyaz boyalı galvaniz levha	0,50 mm beyaz boyalı galvaniz levha
Yalıtım malzemesinin türü	Poliüretan panel	Poliüretan panel
Yalıtım malzemesinin kalınlığı (mm)	80	100
Plastik conta kalınlığı(mm)	15	15
Contanın ısı iletim katsayısı (W/mK)	0,17	0,17
Beyaz boyalı galvaniz levhanın ısı iletim katsayısı (W/mK)	41,5	41,5
Yalıtım (poliüretan) malzemesinin ısı iletim katsayısı (W/mK)	0,022	0,022

#### 4.1 Soğutma Yükü Değerleri

Soğutma yüklerinin elde edilmesi ile ilgili sonuçlar, aşağıda tablolarda gösterilmiştir. Tablo 5'te soğutucu ve dondurucu bölümündeki iletim ısı yükünün elde edilmesi için hesaplanan, toplam ısı transfer katsayıları; Tablo 6'da ise hesap sonucu elde edilen tüm soğutma yük değerleri verilmiştir [21-23].

Ürün ısısının hesaplanmasında, ülkemizde buzdolabı üretimi gerçekleştiren bir firma-

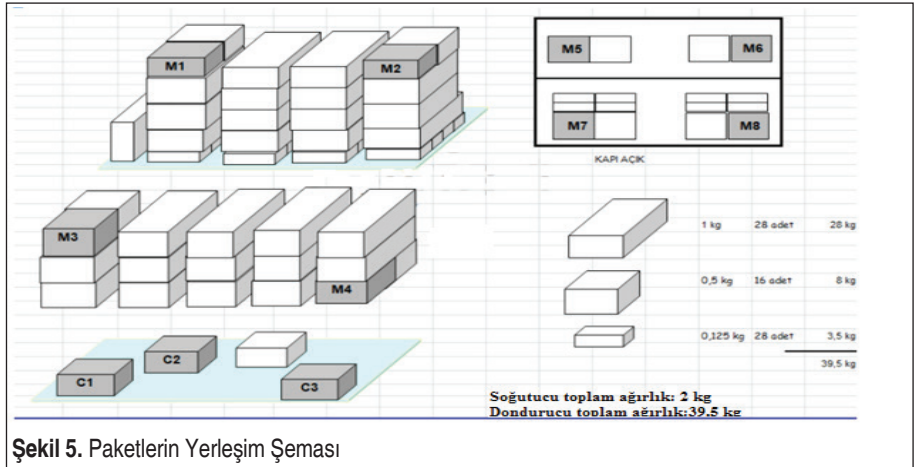




dan alınan ölçüm verileri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde TS EN 62552 standartlarına uygun sayı ve ağırlıkta M ve C paketlerinin kullanıldığı tespit edilmiştir. M paketleri dondurucu bölümünde kullanılırken, C paketleri ise soğutucu bölümünde kullanılmıştır.

M1/M2, M3/M4 ve C1/C2/C3 paketleri sırasıyla dondurucu bölümünün üst rafına, dondurucu bölümünün alt rafına ve soğutucu bölümüne yerleştirilmektedir. M5/M6/M7/M8 paketleri ise derin dondurucularda kullanılmaktadır.

Buzdolabının dondurucu iç bölümünde ve dondurucu kapağında 39,5 kg M cinsi paket, soğutucu bölümünde ise 2 kg C cinsi paket kullanılmıştır. Paketlerin yerleşim planı firmadan alındığı şekliyle Şekil 5’de gösterilmiştir. Paketlerin iç malzemelerinin termal özellikleri, yağsız sıgır etine karşılık gelmektedir. Yağsız sıgır etinin özgül ısı değerleri; donma noktasının altındaki sıcaklar için 1,80 kJ/kgK; donma noktasının üzerindeki sıcaklıklar için 3,34 kJ/kgK; gizli ısı için ise 257 kJ/kgK değerleri alınmıştır [17].



Şekil 5. Paketlerin Yerleşim Şeması

Soğutma yükü sonuçları, soğutucu ve dondurucu bölümü için Şekil 6’da görüldüğü gibi ayrı ayrı verilmiştir. Soğutma yükünü oluşturan her bir ısı yükünün, toplam soğutma yüküne etkisi de Şekil 7’de gösterilmiştir. Şekil 6’da görüldüğü gibi iletim ısı yükü, soğutma yükü üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Soğutma yükünün yaklaşık %40’ını oluşturmaktadır. Ürün ısı yükü, toplam toplam ısı yükü üzerinde ikinci en büyük etkiye sahiptir. Soğutma yükünün yaklaşık %26’sını oluşturmaktadır. Hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü, soğutma yükü üzerinde üçüncü en büyük etkiye sahiptir. Bunun oranının da yaklaşık %21 olduğu görülmüştür. Diğer soğutma yüklerinin oranı ise yaklaşık %13 olarak elde edilmiştir.

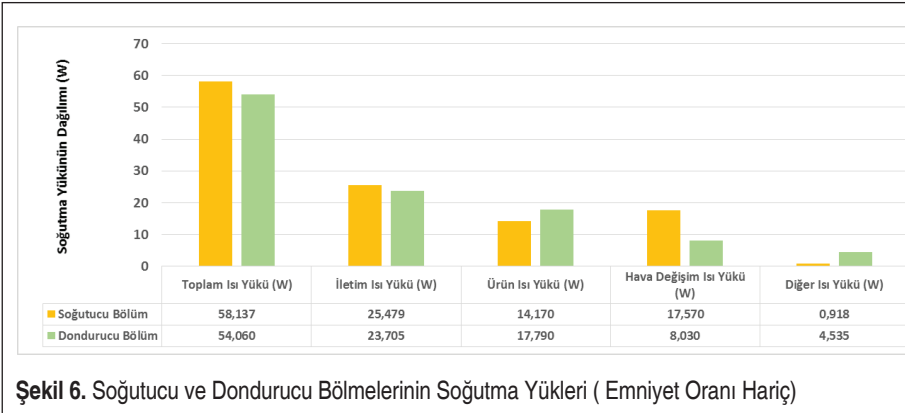
Elektrikli defrost (buz çözücü) buharlaştırıcının üzerinde donma olduğunda çalışmaktadır. Dolayısıyla diğer ısı yükleri ile karşılaştırıldığında küçük bir etkiye sahip oldu-

**Tablo 5.** Soğutucu ve Dondurucu Bölmeleri İçin Isı Transfer Katsayıları

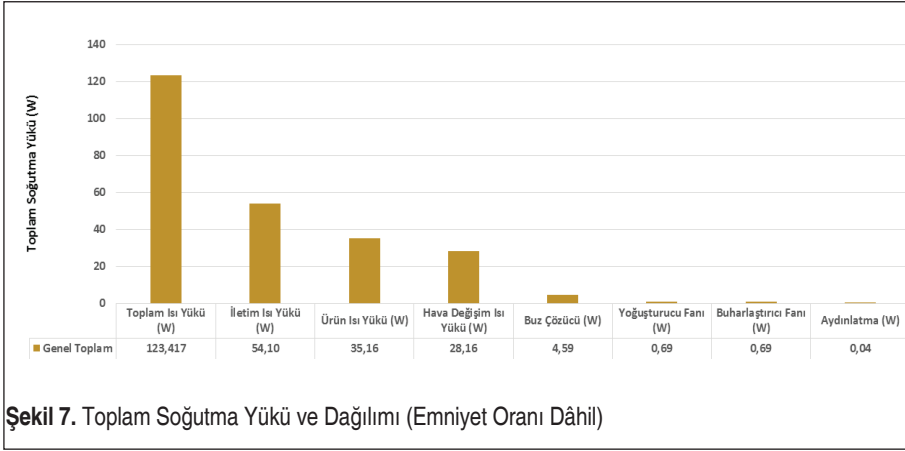
Toplam Isı Transfer Katsayısı (W/mK)	Soğutucu Bölmesi	Dondurucu Bölmesi
K	0,207–0,264 W/m <sup>2</sup> K	0,185–0,213 W/m <sup>2</sup> K

**Tablo 6.** Tasarlanan Buzdolabının Soğutma Yükü Değerleri

Yük Cinsi	Soğutucu Bölümü (W)	Dondurucu Bölümü (W)	Toplam Soğutma Yükü (W)	%
İletim ısı yükü	25,479	23,705	49,184	39,85
Ürün ısı yükü	14,170	17,790	31,960	25,90
Hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü	17,570	8,030	25,600	20,74
Buz çözücü (Defrost)		4,170	4,170	3,38
Yoğuşturucu fanı	0,275 (%44)	0,350 (%56)	0,625	0,51
Buharlaştırıcı fanı	0,625		0,625	0,51
Aydınlatma	0,018	0,015	0,033	0,03
Ara Toplam	58,137	54,060	112,197	90,91
Emniyet %10	5,814	5,406	11,220	9,09
Toplam Yük	63,951	59,466	123,417	100



**Şekil 6.** Soğutucu ve Dondurucu Bölmelerinin Soğutma Yükleri ( Emniyet Oranı Hariç)



Şekil 7. Toplam Soğutma Yüğü ve Dağılımı (Emniyet Oranı Dâhil)

Tablo 7. Gıda Maddelerinin Soğutma Yüğü ile Olgunlaşma Isısı Değerleri [11]

Soğutma Yüğü					
Cinsi	Miktarı	Isınma Isısı (kJ/kg °C)	Sıcaklık Farkı (°C)	Soğutma Süresi (s)	Soğutma Yüğü (W)
Kabak	1	4.01	21	9.900	8,51
Kayısı	1	3.68	21	9.900	7,81
Limon	1	3.85	21	9.900	8,17
Pırasa	1	3.68	21	9.900	7,81
Şeftali	1	3.85	21	9.900	8,17
Taze fasulye	1	3.85	21	9.900	8,17
Üzüm	1	3.59	21	9.900	7,62
Ara Toplam					56,23
Olgunlaşma Isı Yüğü (+5 °C)					
Cinsi	Miktarı	Olgunlaşma Isısı (Kcal/ton 24 saat)	Dönüşüm Oranı	Olgunlaşma Isısı (W)	
Kabak	1	907,50	0,00005	0,04	
Kayısı	1	427,50	0,00005	0,02	
Limon	1	280,00	0,00005	0,01	
Pırasa	1	1.347,50	0,00005	0,07	
Şeftali	1	430,00	0,00005	0,02	
Taze fasulye	1	1.907,50	0,00005	0,09	
Üzüm	1	245,00	0,00005	0,01	
Ara Toplam				0,27	
Genel Toplam				56,50	

ğu görülmektedir. Kondenser ve evaporatör fanı ile aydınlatma da çalışma sürelerinin az olmasından dolayı soğutma yükü üzerindeki etkisi küçüktür.

## 4.2 Gıdaların Soğutma Yükü ve Olgunlaşma Isınınin Mertebesi

Ürün ısısının hesaplanmasında, standarttaki paketler dikkate alındığından dolayı ayrıca olgunlaşma ısı hesaplanmamıştır. Ancak hem olgunlaşma hem de soğutma ısısının mertebesini gerçek ürünler üzerinden belirlemek açısından, söz konusu buzdolabına; her biri 1 kg olan sebze ve meyvelerden; taze fasulye, pırasa, kayısı, kabak, limon, şeftali ve üzüm yüklemesi yapıldığı varsayılmıştır. Literatürdeki verilerden ve Eşitlik 10'dan yararlanarak gıda maddelerinin soğutma yükü ile olgunlaşma ısı değerleri, ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sebze ve meyvelerin termal özellikleri literatürden [11] alınmıştır.

Hesaplama sonucunda gıdaların soğutma yükünün 56,23 W; olgunlaşma ısısının 0,27 W, toplamının da 56,50 W olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla soğutma ve olgunlaşma ısı yükünün, buzdolabının toplam soğutma yükünün (123,417–31,96.1,1+56,50.1,1=150,411 W) yaklaşık %37 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan değerler Tablo 7'de verilmiştir.

## 5. TASARLANAN BUZDOLABININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ

Analiz sonucunda, elde edilen değerlere göre buzdolabının temel elemanları, Tablo 8'de gösterilmiştir. Elemanların seçiminde gerçek değerler kullanılmıştır.

**Tablo 8.** Buzdolabının Seçilen Elemanları [21-23]

Seçilen Elemanlar	Özellikler
Kompresör	Kompresör modeli: MSS488Q-L1U Soğutma kapasitesi: 140 W Soğutucu akışkanı: R600a COP (performans katsayısı): 1,70 Giriş gücü: 82 W Soğutucu akışkan buharlaşma sıcaklığı: -23,3°C Soğutucu akışkan yoğunlaşma sıcaklığı: 54,4 °C
Yoğuşturucu	İç çap: 3/16" (≅ 5 mm) Malzeme: Bakır boru
Kılcal boru	Uzunluk: 2,30mm İç çap: 0,90mm Malzeme: Bakır
Buharlaştırıcı	İç çap: 4,76 mm Malzeme: Bakır boru
Kondenser fanı	Kanat sayısı: 3 Güç: 2,5 W
Evaporatör fanı	Kanat sayısı: 3 Güç: 2,5 W



## 5.1 Enerji Sınıf Etiketleri

Buzdolabının enerji sınıfı etiketi, yukarıda verilen Eşitlik (1–5)’e göre tespit edilmiştir. Dolayısıyla önce buzdolabının yıllık enerji tüketimi ile düzeltilmiş net hacme bağlı olan standart enerji tüketimi değerleri, ayrı ayrı hesaplanmıştır. Daha sonra yıllık enerji tüketiminin, standart enerji tüketimine oranı bulunarak; Tablo 1’e göre sınıf tespiti yapılmıştır. Bulunan sonuçlar Tablo 9’da gösterilmiştir [21-23].

**Tablo 9.** Buzdolabının Enerji Sınıfı ile İlgili Değerleri

Enerji Tüketimi ve Enerji İndeks Değeri	Sayısal Değeri (kWh/Yıl)
Yıllık enerji tüketimi (E)	179,580
Standart enerji tüketimi ( $E_{st}$ )	654,399
Enerji indeksi (% , I)	27,4
Enerji sınıfı	A++

## 6. SONUÇ

Soğutma kapasitesinin hesabının ve dağılımının hassas olarak belirlenmesi; buzdolabında olması gereken elemanların doğru seçimi ve enerji tüketimi açısından oldukça fazla önem ifade etmektedir. Ayrıca bu durum üretim maliyetlerine olumlu yansıtacaktır.

Bu çalışmada bir buzdolabının tasarımına etki eden parametreler belirlenerek; soğutma yükünü oluşturan ısı yüklerinin ve bunların toplam ısı yüküne olan etkisi ortaya konmuştur.

Soğutma yükleri ayrı ayrı elde edildikten sonra uygun elemanların seçimi yapılmıştır. Eleman seçiminden sonra enerji tüketim değerleri elde edilmiştir.

Yapılan analizlere göre, soğutma yükünün yaklaşık %40’ını yani en büyük kısmını iletim (transmisyon) ısısı oluşturmaktadır. Söz konusu ısı; duvarlar, tavan ve zemin den transfer olmaktadır. İkinci büyük etkiyi ürün ısı yükü oluşturmaktadır. Bunun toplam soğutma yüküne oranı yaklaşık %26 olarak elde edilmiştir. Üçüncü soğutma etkisi ise hava değişim (infiltrasyon) ısı yükü oluşturmaktadır. Hava değişim (Infiltrasyon) ısı yükünün toplam ısı yüküne oranı ise yaklaşık %21’dir. Toplam soğutma yükününün %13’ü de diğer kaynaklardan meydana gelmektedir.

Çalışmanın sonunda da TSE EN 62552 standardından yararlanılarak buzdolabının enerji sınıfı A++ sınıfı olarak belirlenmiştir. Bu bağlamda ev tipi bir buzdolabının temel karakterisitik değerlerinin belirlenmesi ile ilgili olarak literatüre bir katkı sunulmaya çalışılmıştır.

## SEMBOLLER

A	Isı transfer alanı [ $m^2$ ]
$C_c$	Tropikal iklim sınıfı için tanımlanan katsayı
$C_{oi}$	Ürünün olgunlaşma ısısı [ $kJ/kg\ h$ ]
$c_1$	Ürünün donmadan önceki ısınma ısısı [ $kJ/kgK$ ]
$c_2$	Ürünün donduktan sonraki ısınma ısısı [ $kJ/kgK$ ]
DH	Düzeltilmiş net hacim [ $dm^3$ ]
$D_f$	Kapı aralığının akış faktörü
$D_t$	Kapı aralığının açık olduğu zamanın ondalık kısmı
E	Yıllık enerji tüketimi [ $kWh/yıl$ ]
$E_d$	Kapıarası koruma cihazı etkenliği
$E_{st}$	Standart enerji tüketimi [ $kWh/yıl$ ]
$F_m$	Yoğunluk faktörü
G	Soğuk odaya konulan ürün miktarı [ $kg$ ]
$h_i$	İçeri giren havanın entalpisi [ $kJ/kg$ ]
$h_{if}$	Ürünün gizli ısısıdır [ $kJ/kg$ ]
$h_r$	Soğutulan havanın entalpisi [ $kJ/kg$ ]
H	Kapı aralığı yüksekliği [ $m$ ]
I	Enerji verim indeksi [ $E/E_{st}$ ]
$k_i$	i tabakasının ısı iletim katsayısı [ $W/mK$ ]
K	Toplam ısı transferi katsayısı [ $W/m^2K$ ]
m	Ürünün kütlesi [ $kg$ ]
n	Cihaz sayısı
P	Enerji tüketimi [ $kW/24\ h$ ]
$P_d$	Cihaz gücü [ $kW$ ]
$t_{aa}$	Ölçülen ortam sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$t_i$	Nominal bölme sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_d$	Donma sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_f$	Ürünün donma sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_m$	Muhafaza sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_1$	Ürünün son sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
$T_2$	Ürünün soğuk odaya konmadan önceki sıcaklığı [ $^{\circ}C$ ]
V	Toplam net hacim [ $L, dm^3$ ]



$V_n$	Bölmenin net hacmi [L, dm <sup>3</sup> ]
ZO	Zaman oranı [s/s]
$q_t$	24 saat veya diğer periyot için ortalama ısı kazancı [W]
$Q_d$	Günlük (veya diğer) zaman periyodu [h]
$Q_{Def}$	Buz çözücünün ısı yükü [W]
$Q_L$	Aydınlatma cihazı ısı yükü [W]
$Q_{oi}$	Olgunlaşma ısısı [W]
$Q_p$	Kapı açma-kapama süresi [s]
$Q_o$	Kapının açık olduğu süre [dak]
$Q_d$	Günlük (ya da diğer) zaman periodu [saat]
$Q_{(1,2,3,4)}$	Ortamdan uzaklaştırılan ısı [W]
$\Delta T$	Sıcaklık farkı [°C]
$\delta$	Isı akışına dik kalınlık [m]
$\rho_i$	İçeri giren havanın yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_r$	Soğutulan havanın yoğunluğu [kg/m <sup>3</sup> ]

## KAYNAKÇA

1. **Yemenicioğlu, E.** 2019. “Üretim Sistemleri Mühendisliğinde Kesintisiz Veri Alışverişi İçin Bir Çatı Formatı: AutomationML”, Mühendis ve Makina, cilt 60, sayı 695, 91-100.
2. **Çalışkan, H.** 2010. “Güneş Kollektörlerinin Enerji, Ekserji, Termoekolojik, Sürdürülebilirlik, Termoekonomik ve Eksergoekonomik Analizleri”, Mühendis ve Makina, cilt 61, sayı 700, 228-240.
3. **Akdemir, S.** 2008. “Designing of Cold Stores and Choosing of Cooling System Elements”, Journal of Applied Sciences, cilt 8, sayı 5, 788-794.
4. **Bertoldi, P., Atanasio, B.** 2006. Electricity Consumption & Efficiency Trends in the Enlarged European Union-Status Report, European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy.
5. **Sakallı, Ö.** 2012. “Ev Tipi Buzdolaplarında Enerji Tüketimine Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi”, Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
6. **Avcı, H.** 2011. “Computer Aided Analysis and Experimental Investigations Towards Optimizing the Design Parameters of Domestic Refrigerators”, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
7. **Odabaşı, M.** 2015. “Heat Transfer And Fluid Flow in a Refrigerator Through Door Opening”, Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
8. **Ağakay, V.** 2013. “Experimental Performance Investigation and Variable Speed



- Compressor Implementaion of a Household Refrigerator”, Yüksek lisans tezi, İzmir Teknoloji Enstitüsü, İzmir.
9. **Mutlu, M., Kaynaklı, Ö., Kılıç, M.** 2011.”Elektrikli Ev Aletlerinin Enerji Etiketlemesinin İncelenmesi”, Ulusal İklimlendirme Kongresi, Antalya.
  10. **Çengel, Y., Boles, M.** 2015. Thermodynamics an Engineering Approach, Bill Stenquist, ISBN 978-0-07-339817-4, McGraw-Hill, New York.
  11. **Yamankaradeniz, R., Horuz, İ., Kaynaklı, Ö., Coşkun, S.** 2013. Soğutma Tekniği ve Isı Pompası Uygulamaları, ISBN:978-605-4485-97-0, DORA ,Bursa, 325-326
  12. **Aslan, V.** 2007. “Ev Buzdolabının Verim Analizi” , Yüksek lisans tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
  13. **Rani, M.H.F. ve diğerleri,** 2017. “Design of refrigeration system using refrigerant R134a for macro compartment”, Journal of Physics: Conf. Series 908 (2017) 012054, IOP Publishing, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/908/1/012054/pdf>
  14. **Akkaya, M. ve Çamdalı, Ü.** “Design And Analytical Examination of A Household Refrigerator”, 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 13-16 Eylül 2017, Çorum, 114-122. İnternet, <http://bulut.hitit.edu.tr/index.php/s/ga5SIs1BausnO21>
  15. **Brian, A., Fricke,** 2011. Vishal Sharma Oak Ridge National Laboratory Oak Ridge, TN., Demand Defrost Strategies in Supermarket Refrigeration Systems, Interim Report, 1-3.
  16. İnternet, <http://www.arcelik.com.tr/katalog-ozellikleri-buzdolabi-enerji.html>, 28.05.2016.
  17. TSE 62552, IEC 62552:2007, TSE, Household refrigerating appliances, characteristics and test methods.
  18. ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) 2002. Refrigeration handbook.
  19. Downing, C., Meffert, W.A., 1993. Effectiveness of cold storage door infiltration protective devices, ASHRAE Transactions 99(2).
  20. **Hendrix, W.A., Henderson, D.R., Jackson, H.Z.** 1989. Infiltration heat gains through cold storage room doorways, ASHRAE Transactions 95(2).
  21. **Akkaya, M.** 2016. “Domestic Refrigerator Design”, Bitirme projesi, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Ankara.
  22. **Selviyoy, M.** 2016. “Buzdolabı İç Sıcaklık Dağılımının Kararsız Rejimde Modellenmesi ve Isı Kazançlarının Belirlenmesi” , Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
  23. İnternet, <https://www.samsung.com/global/business/compressor/recipro-compressor/r600a-lbp-ac220-240v-50hz/>



# İmplant-Çimento Arayüzeyinin Kesme Dayanımını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi

Sait Koçak<sup>1</sup>, Tezcan Şekercioğlu<sup>2\*</sup>

## ÖZ

Çimentolu kalça implantı bağlantılarında görülen en önemli hasarlardan biri aseptik gevşemedir. Aseptik gevşemede kemik-çimento ve çimento-implant arayüzeylerinde ayrılmalar meydana gelebilmektedir. Arayüzeylerde ne kadar dayanıklı bağlantılar elde edilebilirse o kadar uzun ömürlü cerrahi operasyonlar gerçekleştirilmiş olur. Çimento-implant arayüzeylerinde baskın olan gerilme, kesme gerilmesidir. Bu çalışmada pin-halka test yönteminden faydalanılarak çimento-implant arayüzeyinin kesme dayanımı araştırılmıştır. Ayrıca implant malzemesinin, yüzey pürüzlülüğünün ve çimento manto kalınlığının değişmesi ile arayüzey kesme dayanımında meydana gelen değişimler incelenmiştir. İmplant malzemesi olarak implant üretiminde yaygın bir şekilde kullanılan titanyum alaşımı ve paslanmaz çelik malzemeler kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, farklı boyutlarda alüminyumoksit taneleri ile kumlama sonucunda elde edilmiştir. Delrinden imal edilen farklı iç çap ölçülerine sahip burçlar ile farklı manto kalınlıkları elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, yüzey pürüzlülüğünün artması ile arayüzey kesme dayanımının arttığını, titanyum alaşımı malzemenin daha yüksek arayüzey bağlantısı sağladığını ve ideal manto kalınlığının 2-3 mm arasında olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kemik çimentosu, implant, kesme dayanımı, pim-halka testi

## Investigation of Factors Affecting Shear Strength of Implant-Cement Interface

### ABSTRACT

One of the most important failure in cemented hip replacement is aseptic loosening. Separation may occur at the bone-cement and cement-implant interfaces because of aseptic loosening. The more durable connections can be obtained at the interfaces; the longer surgical operations are performed. The predominant stress at cement-implant interfaces is shear stress. In this study, the shear strength of the cement-implant interface was investigated by using the pin-collar test method. In addition, changes in interfacial shear strength with changes in implant material, surface roughness and cement mantle thickness were investigated. Titanium alloy and stainless-steel materials widely used in implant manufacturing, were used as implant materials. Surface roughness values were obtained by sandblasting with different sized aluminium oxide grains. Different mantle thicknesses have been achieved with the bushes with variable inner diameter sizes made of Delrin. The results show that with the increase in surface roughness, the interface shear strength increases, the titanium alloy material provides higher interface connection, and the ideal mantle thickness is between 2-3 mm.

**Keywords:** Bone cement, implant, shear strength, pin and collar test

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 26.01.2021

Kabul/Accepted : 23.02.2021

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Denizli skocak@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5597-9274

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Denizli tsekerci@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9359-8843

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Aseptic loosening, which is common in cemented hip implants, is a problem that bio mechanists have been working on for many years. Finite element and similar analysis on the structure of total hip replacement show that compression, tensile and shear stresses occur at the bone-cement and cement-implant interfaces. It is very important to determine the strength values of bone-cement and cement-implant interfaces to determine the causes of aseptic loosening. Therefore, the strength values of both interfaces in tensile, shear, fatigue and mixed mode loading conditions and the factors affecting these values have been extensively investigated in the literature.

### Objectives

In this study, it was tried to experimentally determine the cement-implant interface shear strength by pin and collar tests. The effects of implant material, surface roughness and mantle thickness on interface shear strength were investigated. The pin and collar test is a widely used mechanical test method to measure the interfacial adhesion force of cylindrical materials. In the pin and collar test, shear force is clearly applied to the adhesion area and the shear strength of the interface is determined correctly. There is a part of cylindrical area in the structure of total hip replacement. When a load is applied to the femoral head, a situation like the shear test occurs in the cylindrical regions. In this regard, EN ISO 10123 standard is widely used to testing anaerobic adhesives. However, there is no standard in this scope for testing bone cement interfaces. For this reason, the experimental study was similar to the experimental configuration of Messick et al.

### Methods

Titanium alloy and stainless steel, which are frequently used in implant manufacturing, were used in the experiments as an implant material. Cemented hip prostheses surface, which will remain in the cement after they leave the machining are sandblasted under pressure using aluminium oxide particles. Sandblasting with different sizes of sands (EKF 16, EKF 24, EKF 46, EKF 60) onto the surface, sample surfaces with different surface roughness values were obtained. In the samples where the effect of surface roughness on shear strength was investigated, the cement mantle thickness was kept constant and taken 3 mm. Three different samples were tested for each parameter. In the experiments investigating the effect of mantle thickness, the implant material (titanium alloy) and surface roughness value (sandblasted surface with EKF 46) were kept constant. The cement-implant interface has been tested for mantle thicknesses of 2, 3, 4 and 5 mm. Three different test specimens were tested for each mantle thickness. Delrin material was used as the bushing (ring) material in the experiments in which the effects of both surface roughness and mantle thickness were investigated. Instron 8801 dynamic tensile-compression device was used. Loading speed 0,5 mm/min has been selected.

### Results

When titanium alloy is used as an implant material, the lowest surface roughness value obtained is  $R_a$  2,68  $\mu$ m and the average shear strength obtained at this value is 5,99 MPa, while the highest surface roughness value is  $R_a$  7,56  $\mu$ m and the average shear strength obtained at this value is 10,46 MPa. The smallest surface roughness value obtained when stainless steel is used as implant material is  $R_a$  2,43  $\mu$ m and the average shear strength obtained at this value is 4,83 MPa, while the highest surface roughness value is  $R_a$  6,60  $\mu$ m and the average shear strength obtained at this value is 8,73 MPa. With the increase in surface roughness, the interface shear strength of both materials has increased. At the same surface roughness values, the titanium alloy material showed higher shear strength than the stainless-steel material. The difference can be attributed to the surface energies of materials. While the shear strength obtained in the smallest mantle thickness (2 mm) was 7,91 MPa, this value was obtained as 3,93 MPa in the largest mantle thickness (5 mm). It is thought that additional bending stresses occur in the cement mantle as the thickness of the cement mantle increases and these stresses reduce the shear strength by causing tensile stresses at the interface.

### Discussion

In this experimental study, the implant-cement interfaces were tested, and the interface strength increased significantly as the implant surface roughness increased. Although the implant material did not have a significant effect on shear strength, titanium alloy materials showed slightly higher values at the same surface roughness values. Approximately 50% decrease in interface strength has been detected with the increase of cement mantle thickness from 2 mm to 5 mm. It can be said that the mantle thickness should not exceed 2-3 mm. Comparing the pin and collar shear test results with the normal tensile-shear tests given in the literature, approximately 300% higher shear strengths were obtained in the pin and collar shear tests at the same surface roughness values. For this reason, in cement-implant connections, connection geometries should be tried to be created in a way that shear stress is applied to the connection as much as possible.



## 1. GİRİŞ

Çimentolu kalça implantlarında görülen aseptik gevşeme biyomekanikçilerin uzun yıllardır üzerinde çalıştıkları bir problemdir. Total kalça replasmanının yapısı üzerine yapılan sonlu elemanlar ve benzeri analizler kemik- çimento ve çimento-implant arayüzeylerinde basma, çekme ve kesme gerilmelerinin oluştuğunu göstermektedir [1, 2]. Aseptik gevşemenin nedenlerini saptayabilmek için kemik-çimento ve çimento-implant arayüzeylerinin dayanım değerlerinin belirlenmesi çok önemlidir. Dolayısıyla literatürde her iki arayüzeyin çekme, kesme, yorulma ve karışık modda yükleme durumlarında dayanım değerleri ve bu değerlere etki eden faktörler yaygın bir şekilde araştırılmıştır.

Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan bir çalışmada, krom-kobalt ve titanyum malzemeden oluşan protezler için çimento-kemik ve çimento-protez arayüzeylerindeki mikro hareket ve gerilmeler araştırılmıştır. 4 mm manto kalınlığı için çimento-implant ve çimento-kemik arayüzey sürtünme katsayıları sırasıyla 0,4 ve 1,0 olarak tespit edilmiştir. Diğer bir parametre olarak çimento manto kalınlığı 2-7 mm arasında değiştirilmiş, her iki implant malzemesinin mekanik davranışını da yaklaşık aynı bulunmuştur. İmplant yüzey sertlik değerlerinin de her iki arayüzeyde oluşan mikro hareketin büyüklüğü ve dağılımında önemli bir fark yaratmadığı gözlemlenmiştir. Protez yüzey pürüzlülük değerlerindeki azalmanın, ara yüzeydeki kayma oranını artırdığı, buna karşılık çimento-kemik arayüzeyinde gerçekleşen bağ ayrılmasını azalttığı tespit edilmiştir [3].

Çekme ve kesme karışımı yükleme şartları altında çimento-kemik ara yüzeyinin mekanik davranışlarını belirlemek için geliştirilen hasar modeli kapsamında, yükleme açıları 11,5°, 45° ve 67,5° altında testler gerçekleştirilmiş ve hasar öncesi ve sonrası durumlardaki mekanik davranış incelenmiştir. Yükleme açısı arttıkça, hasar dayanımlarında kayda değer artışlar tespit edilmiştir. Elde edilen test verileri eliptik hasar kriteri ile değerlendirilmiş, gerçek ve tahmin edilen dayanım arasında ortalama hata %33 civarında bulunmuştur [4].

Çimento kullanılarak oluşturulan total kalça artroplastisinde meydana gelen aseptik gevşemenin sebeplerini araştırmak için yapılan çalışmada, in vivo şartları mümkün olduğunca sağlayabilmek için insan kadavra dokusu kullanılmış ve kemik-çimento numuneleri hazırlanmıştır. Yapılan çeki yorulma testlerinde, numunelerin hepsinde sertlik kaybı ve yükün kaldırılması sonrası sürünme hasarı tespit edilmiştir. Oluşan hasarların büyük çoğunluğunun sürünme hasarı şeklinde gerçekleştiği vurgulanmıştır. Arayüzeyin yorulma S-N eğrisi, uygulanan gerilme oranına bağlı olarak başlangıçta verilen gerilmenin bir fonksiyonu olarak elde edilmiştir [5].

Çimento-kemik bağlantılarında kesme yorulma yüklemesinin etkileri üzerine yapılan

bir çalışmada, taze dondurulmuş kadavra femurları kullanılarak, kemik-çimento arayüzeyi içeren test numuneleri hazırlanmıştır. Çatlak kemik arayüzeylerindeki sürünme davranışını kesme ve çekme yorulması yüklerinde açıklayabilmek için von Mises eşdeğer gerilme/deformasyon kavramı kullanılmış ve genel bir hasar modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen model kullanılarak her iki yükleme durumundaki hasar oluşum zamanı, eşdeğer sürünme gerinim oranı ile yüksek ilişkili ( $r^2=0,971$ ), eşdeğer başlangıç gerinimi ile kısmi ilişkili ( $r^2=0,428$ ) bulunmuştur [6].

Çimentolu toplam kalça replasmanlarının çimento-kemik arayüzünün mikro mekanik davranışlarını belirlemek için yapılan çalışmada, numuneler üzerinde yarı-statik çekme ve basma testleri yapılmış ve dijital görüntü korelasyon tekniklerinden yararlanılmıştır. Uygulanan yükler altında, meydana gelen yer değiştirme miktarının büyük kısmının kemik ve çimento arasındaki ara temas bölgesinde olduğu ve çimento-kemik arayüzey çekme mukavemetinin arayüzey temas alanı ile doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Kemik-çimento numuneleri kullanılarak kayma yorulma yüklemesinin uygulandığı diğer bir çalışmada, in vitro çalışma şartlarında, arayüzeyin rijitliğindeki değişim ve sürünme hasarı, dijital görüntü korelasyon teknikleri kullanılarak ölçülmüştür. Arayüzeyde meydana gelen sürünme hasarının, başlangıçta hızlı bir artış, devamında kararlı bir artış ve son olarak da hızlı bir artış ile üç aşamada gerçekleştiği tespit edilmiştir. Yüklenme büyüklüğü, yükleme çevrim sayısı ve arayüzeydeki temas alanının bir fonksiyonu olarak bulunmuştur. Hasarlı kemik ve çimento numuneler karşılaştırılmış, çimentoda daha çok mikro çatlak gözlemlenmiş ve hasarın da genel olarak arayüzeyde olduğu saptanmıştır [7, 8].

Çekme, kesme ve karışık mod yükleme şartları altında çimento-kemik arayüzeyinin mekanik davranışlarını incelemek için yapılan çalışmada, akrilik kemik çimentosu ve sığır kemiği kullanarak testler gerçekleştirilmiştir. Yükleme açısı ve çimento penetrasyon miktarının, bağlantı arayüzey davranışı üzerine etkileri belirlenmeye çalışılmıştır [9]. Ön ısıtma işleminin, implant-çimento arayüzeyinin kesme dayanımı üzerine etkilerinin araştırıldığı çalışmada polimetilmetakrilat kemik çimentosu ve kobalt-krom alaşımı kullanılmıştır. Vakum altında standart koşullarda hazırlanan çimento içerisine farklı sıcaklıklarda ön ısıtma işlemine tabi tutulmuş metal çubukları batırılmıştır. Deney numunelerine, kesme ve basma yükleri uygulanarak, oluşan hasar bölgeleri mikroskop yardımıyla incelenmiştir. Ön ısıtma sıcaklığı yükseldikçe arayüzey kesme dayanımında azalma tespit edilmiştir. Ön ısıtma işlemi ile çimento içindeki boşlukların artması, dayanımdaki azalmanın nedeni olarak gösterilmiştir [10].

Çimento karıştırma tekniğinin karşılaştırıldığı bir çalışmada, el ve vakum ile karıştırılmış çimentolu birleştirmeler test edilmiştir. Çimento kürleştikten sonra çimento porozitesinin dağılımı, çimento-implant ve çimento-kemik arayüzeylerinin dayanımı incelenmiştir. Arayüzeylerde oluşan doğrusal lineer gözenek fraksiyonları yaklaşık



olarak aynı derecede bulunmuştur. Çimento-kemik arayüzey mukavemetinin karıştırma tekniği ile çok etkilenmediği, çimento-protez arayüzeyinin mukavemetinde ise elle karıştırma ile daha yüksek değerler elde edilebileceği sonucuna varılmıştır. Vakum ile karıştırmanın porozite miktarını değiştirmede, sadece dağılımını etkilediği vurgulanmıştır [11].

Yorulma hasarı çatlamasının incelendiği çalışmada, in vitro şartlarda iki adet çimentolu femoral protez test edilmiştir. Lubinus SPII ve Charnley protezlerinin kullanıldığı testler, farklı bölgelerde  $10^6$  yük tekrarı ve 2 Hz frekansta gerçekleştirilmiştir. Lubinus SPII protezi için çimento mantosunun proksimal bölgesinde daha çok hasar olduğu ve mikro çatlakların protez-çimento arayüzünde başlayıp, femur kortikal kemiği yönünde arttığı tespit edilmiştir. Yorulmaya bağlı olarak çimento mantosunda meydana gelen hasarın, proksimal de arttığı ve protez çubuğunun eksenel konumuna göre değiştiği vurgulanmıştır. Manto kalınlığının 2 mm'den büyük olduğu durumlarda, kalınlığın mekanik davranışı çok etkilemediği ancak kemik-çimento arayüzünde mikro çatlak oluşumunu arttırdığı belirtilmiştir [12]. İmplant-çimento arayüzey mekanik davranışını belirlemek için yapılan diğer bir çalışmada, karışık modda çekme ve kesme yüklemesi altında ve farklı yüzey pürüzlülük değerlerinde deneyler yapılmıştır. Sade çekme ve kesme değerleri için yükleme açısı değiştirilerek yapılan testlerde, yüzey pürüzlülüğü arttıkça arayüzeyin dayanımı artmıştır. Arayüzey dayanımı, saf kesmede daha yüksek bulunurken saf çekmede daha düşük değerler elde edilmiştir [13].

Titanyum-polimetilmetakrilat kemik çimentosu arayüzey kesme dayanımını arttırmak için atmosfer basıncı DBD plazması kullanarak titanyum üzerine metilmetakrilat esaslı kaplama yapılmış çalışmada, plazma aktive edilmiş hem de plazma kaplanmış farklı deney numuneleri çimento içerisine yerleştirilerek çekme testleri (pull-out test) gerçekleştirilmiştir. Yapılan yüzey işlemi ile yapışma kuvvetinde %50'lere varan artışlar tespit edilmiştir. Sadece plazma uygulanan numuneler, yaşlandırma testleri sonucunda iki hafta içinde orijinal yapışma özelliklerine geri dönerken, plazma kaplı numunelerin ise durumlarını koruduğu görülmüştür [14].

Çimento-kemik arayüzeyinin yorulma davranışının araştırıldığı bir çalışmada, dinamik yükler altında, çimento ile birleştirilmiş numuneler test edilmiş ve deney numuneleri kesme yükü altında  $10^6$  yük tekrarı kadar yüklenmiştir. Kemik-çimento, çimento-implant arayüzeylerinde oluşan gevşeme miktarları Sayısal Görüntü Korelasyon yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Kemik-çimento arayüzü boyunca gevşemenin bir sonucu olarak hasarın başladığı, kemik yüzey pürüzlülüğü ve çimento kaynaşma derecesi ile yorulma mukavemetinin artış gösterdiği sonucuna varılmıştır [15].

Kadavradan alınan çimentolu kalça protezinden küçük numuneler hazırlanarak, çekme-basma yükleri altındaki mekanik davranışlarının incelendiği bir çalışmada, çimento-kemik arayüzünün sertlik ve çekme dayanım değerleri, laboratuvarında ha-

zırlanan numunelere göre çok daha düşük bulunmuştur [16]. Diğer bir çalışmada, laboratuvarda hazırlanan ve ölmüş insandan elde edilen çimento-kemik arayüzleri tahribatsız, çok eksenli yükleme şartları altında test edilmiştir. Numunelere, özel tasarım yükleme disklerine monte ederek, arayüze göre 0, 30, 60 ve 90° olacak şekilde yük uygulanmıştır. 0° çekme gerilmesine karşılık gelirken, 90° kesme gerilmesini temsil etmektedir. Çekmedeki çimento-kemik arayüz dayanımı, 0° yükleme açısındaki basma yüküne göre daha yüksek elde edilmiştir [17].

Plastik malzemelerin yüzey enerjileri düşüktür. Bu nedenle, plastik malzemeler üzerine uygulanan plazma, korona gibi yüzey işlemlerinin yapışma mukavemeti üzerine olan etkileri de deneysel olarak araştırılmıştır. Ön hazırlık işlemlerinin uygulanması ve yüzey enerjilerinin artırılması ile plastik malzemelerin yapışmaya karşı gösterdikleri direncin etkisi azaltılmıştır. Mekanik aşındırma uygulanıp yapıştırılan yüzeylerde de daha yüksek bağlantı mukavemet değerleri elde edilmiştir [18, 19].

Doktora tezi kapsamında, çimento ile birleştirilmiş kalça implantlarının dayanım değerleri hem deneysel hem de sayısal olarak araştırılmıştır. Birleşme arayüzlerine çekme, kesme ve darbe yükleri uygulanarak, in vitro şartlarda arayüz dayanımları test edilmiş, elde edilen deneysel veriler sonlu elemanlar programına dayanım değeri olarak girilmiş ve total kalça replasmanının hasar analizi gerçekleştirilmiştir. Çimento-implant arayüzünün mekanik dayanımına etki edebileceği düşünülen implant malzemesi, implant yüzey pürüzlülüğü ve manto kalınlığı gibi parametreler incelenmiştir [20, 21].

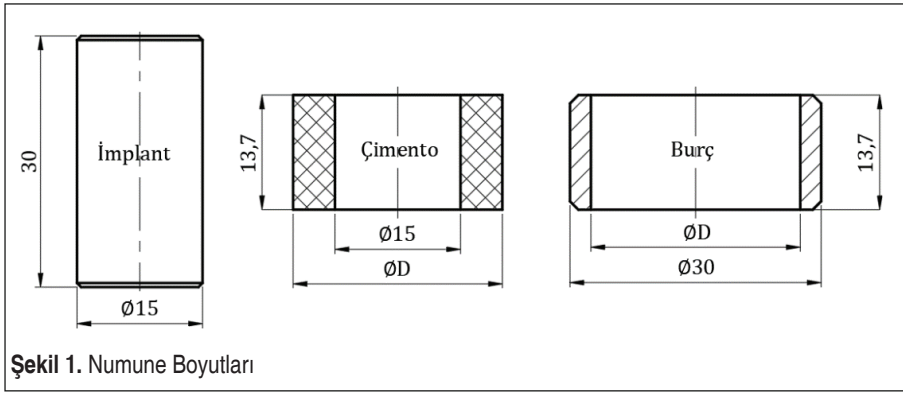
Yapılan bu deneysel çalışma kapsamında, pim-halka testleri ile çimento-implant arayüz kesme dayanımı belirlenmeye çalışılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü, implant malzemesi ve manto kalınlığı gibi parametrelerin arayüz kesme dayanımına etkileri araştırılmıştır. Pim-halka kesme testi (pin and collar test), silindirik malzemelerin arayüz yapışma dayanımını ölçmek için kullanılan bir yöntemdir. Pim-halka testinde, yapışma bölgesine net bir şekilde kesme kuvveti uygulanmakta ve arayüzün kesme dayanımı belirlenmektedir. Femur başına yük uygulandığı zaman protez üzerinde bulunan silindirik bölgelerde de kesme testine benzer bir durum oluşmaktadır. Ancak, kemik çimentolarının testine ait bu kapsamda bir standart mevcut değildir. Bu konuya en yakına anaerobik yapıştırıcıların test edilmesine ilişkin EN ISO 10123 standardı bulunmaktadır [22]. Bu yüzden, Messick ve arkadaşlarının deneysel konfigürasyonuna benzer şekilde testler gerçekleştirilmiştir.

## 2. MATERYAL METOD

İmplant-çimento arayüz dayanım değerleri, pim-halka kesme deneyleri ile tespit edilmiştir. Kesme deneylerinde, arayüz kesme dayanımını etkileyen üç parametre dikkate alınmıştır. Bunlar; implant malzemesi, implant yüzey pürüzlülüğü ve arada

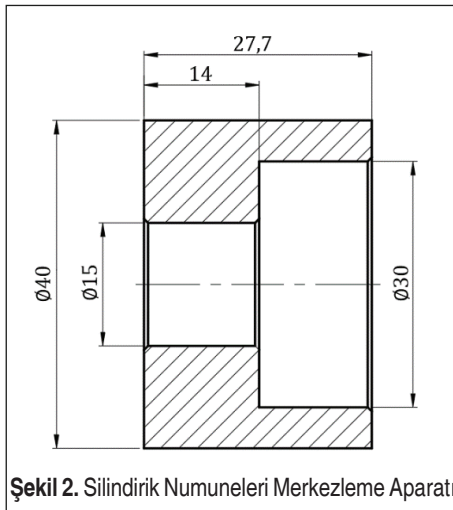


oluşan çimento manto kalınlığıdır. İmplant malzemesi olarak titanyum alaşımı ve paslanmaz çelik kullanılmıştır. Uygulamada, çimentolu kalça protezlerinin çimentonun içinde kalacak olan kısmı alüminyum oksit parçacıklar kullanılarak basınç altında kumlanmaktadır. Bu nedenle, farklı büyüklüklerdeki kumların yüzeye püskürtülmesi ile farklı yüzey pürüzlülük değerlerine sahip numune yüzeyleri elde edilmiştir [20]. Yüzey pürüzlülüğünün etkisinin araştırıldığı deney numunelerinde çimento manto kalınlığı sabit tutularak 3 mm alınmıştır. Manto kalınlığı,  $(\text{ØD}-15)/2$  şeklinde hesaplanan kalınlıktır. Her bir parametre için üç farklı numune test edilmiştir. Şekil 1’de numune boyutları verilmiştir.



Şekil 1. Numune Boyutları

İmplant malzemesi ve yüzey pürüzlülüğü değeri sabit tutularak, manto kalınlığının etkisi araştırılmıştır. İmplant malzemesi olarak EKF 46 ile kumlanmış titanyum alaşımı numuneler kullanılmıştır. 2, 3, 4 ve 5 mm manto kalınlıklarının herbiri için üç farklı deney numunesi test edilmiştir.



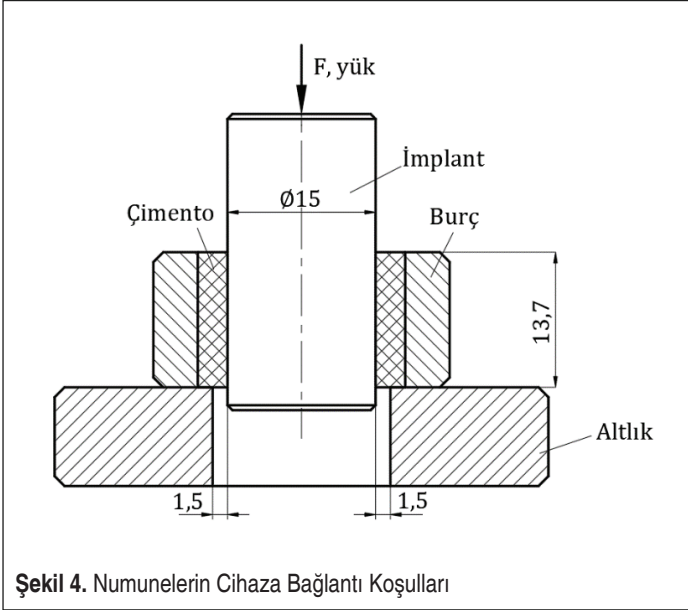
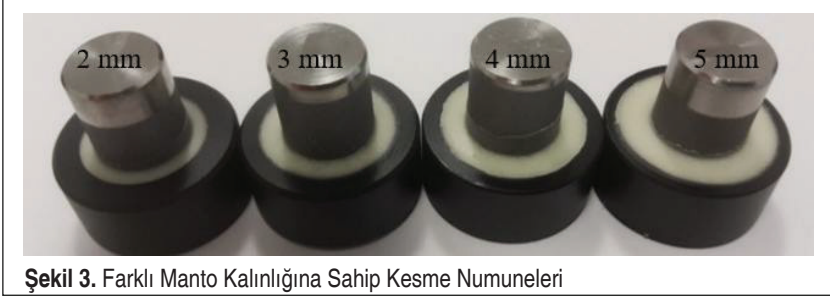
Şekil 2. Silindirik Numuneleri Merkezleme Aparatı

Her bir parametre için üç farklı deney numunesi test edilmiştir. Hem yüzey pürüzlülüğünün hem de manto kalınlığının etkilerinin araştırıldığı deneylerde burç (halka) malzemesi olarak Delrin kullanılmıştır. Testlerde kullanılan implant numuneleri, kemik çimentosunu çevreleyen silindirik burçlara merkezlemek için Messick ve arkadaşlarının [11] kullanmış oldukları aparata benzer Şekil 2’de verilen aparat kullanılmıştır. İlk olarak silindirik burçlar aparatın içine yerleştirilmiş, daha sonra burçların içine çimento doldurulmuş ve titanyum ve paslanmaz çelik implant numuneler çimentoya bastırıla-



rak iklimatik kabinde literatüre uygun olarak 48 saat kürleşmeye bırakılmıştır.

Teste hazır halde birleştirilmiş farklı manto kalınlıklarındaki kesme deney numuneleri Şekil 3'te ve test cihazına bağlantı koşulları Şekil 4'te verilmiştir.

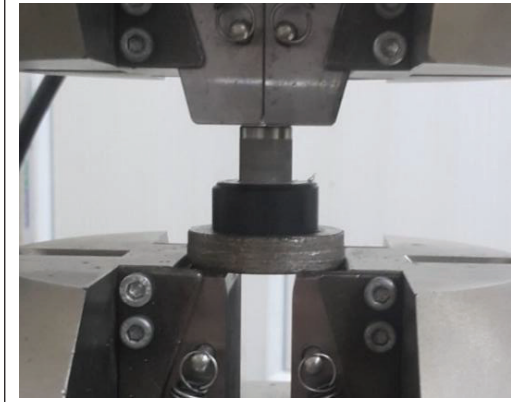


Kürlenmiş numunelere yük uygulama aşamasında, Instron 8801 çekme-basma test cihazı kullanılmıştır (Şekil 5). Testlere başlamadan önce, numunelerin çapları ve yaşırtırma boyutları cihaza veri olarak girilmiştir. Literatüre uygun olarak yükleme hızı 0,5 mm/min seçilmiştir. Çekme cihazının alt çenesine altlık plaka yerleştirilerek numuneler cihaza bağlanmış ve implantın üst yüzeyinden kuvvet uygulanmıştır. Testler sonucunda cihazdan maksimum yük ve deplasman değerleri alınmıştır. Cihaza bağlanmış deney numunelerinden bir tanesi Şekil 6'da gösterilmektedir.





**Şekil 5.** Deneylerde Kullanılan Instron 8801 Çekme-Basma Test Cihazı



**Şekil 6.** Numunelerin Test Cihazına Bağlanması

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Yüzey Pürüzlülüğünün Etkisi

Titanyum-kemik çimentosu arayüzey kesme deneylerinde dört farklı yüzey pürüzlülüğünde her bir pürüzlülük değeri için üç numune, toplamda 12 numune test edilmiştir. Titanyum-kemik çimentosu arayüzey kesme test sonuçları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Yüzey Pürüzlülüğüne Göre Titanyum-Kemik Çimentosu Arayüzey Kesme Dayanımları

Yüzey Pürüzlülüğü ( $R_a$ , $\mu\text{m}$ )	Kesme Dayanımı, $\tau$ (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
2,68	6,20	5,43	6,36	5,99
3,71	6,98	6,74	7,36	7,03
6,63	8,91	8,99	9,92	9,27
7,56	11,16	10,23	10,00	10,46

Paslanmaz çelik-kemik çimentosu arayüzey kesme deneylerinde dört farklı yüzey pürüzlülüğünde her bir pürüzlülük değeri için üç numune, toplamda 12 numune test edilmiştir. Paslanmaz çelik-kemik çimentosu arayüzey kesme test sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yüzey Pürüzlülüğüne Göre Paslanmaz Çelik-Kemik Çimentosu Arayüzey Kesme Dayanımları

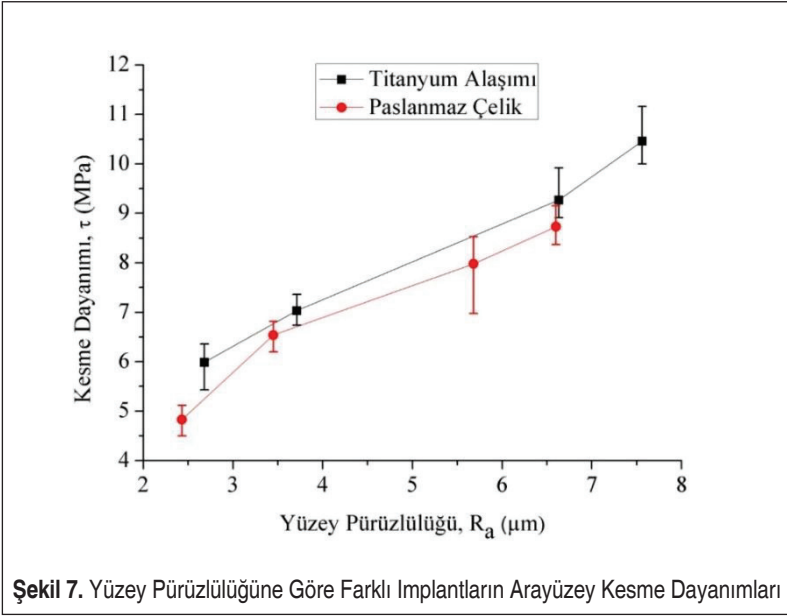
Yüzey Pürüzlülüğü ( $R_a$ , $\mu\text{m}$ )	Kesme Dayanımı, $\tau$ (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
2,43	4,50	4,88	5,12	4,83
3,45	6,20	6,82	6,59	6,54
5,68	8,45	8,53	6,98	7,98
6,60	8,37	9,15	8,68	8,73

Farklı yüzey pürüzlülük değerlerine göre, paslanmaz çelik ve titanyum alaşımı malzemelerin arayüzey kesme dayanımlarındaki değişim, Şekil 7’de gösterilmiştir.

Her iki implant malzemesinde de yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla birlikte arayüzey kesme dayanımında artış gözlemlenmiştir. Titanyum alaşımı implant, aynı yüzey pürüzlülüğü değerlerinde paslanmaz çeliğe göre daha yüksek kesme dayanımı göstermiştir. Aradaki fark, malzemelerin sahip olduğu yüzey enerjilerine bağlanabilir.

### 3.2 Manto Kalınlığının Etkisi

Manto kalınlığının etkisini araştırmak için dört farklı kalınlık değeri için üç numune, toplamda 12 numune test edilmiştir. Farklı manto kalınlığına sahip deney numunelerinin arayüzey kesme sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.



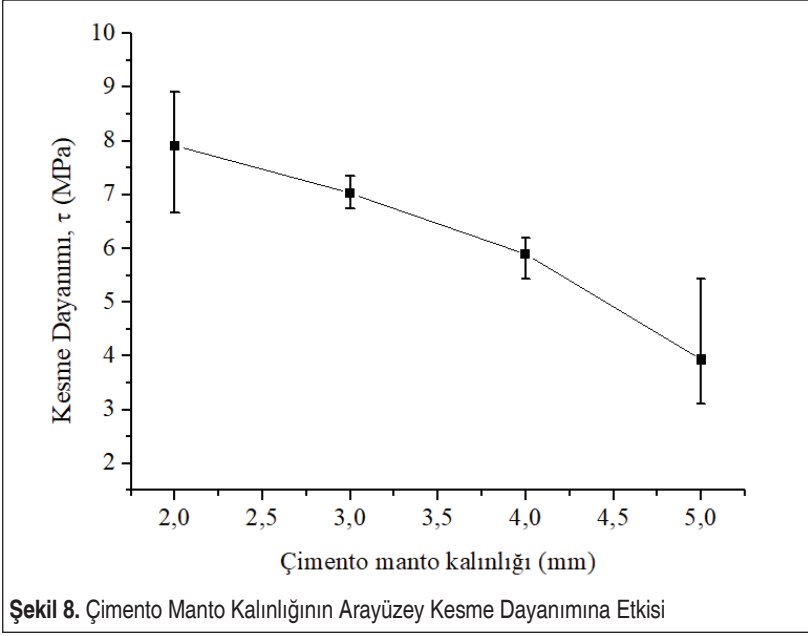
Şekil 7. Yüzey Pürüzlülüğüne Göre Farklı İmplantların Arayüzey Kesme Dayanımları

Çimento manto kalınlığının değişmesi ile implant-çimento arayüzey kesme dayanımının değişimi Şekil 8’de verilmiştir.

Manto kalınlığının artmasıyla birlikte arayüzey kesme dayanımlarında ciddi miktarlarda azalma meydana gelmiştir. En düşük kesme dayanımı 5 mm manto kalınlığında, en yüksek kesme dayanımı ise 2 mm manto kalınlığında elde edilmiştir. Manto kalınlığının artması ile arayüzeylerde ilave eğilme gerilmelerinin oluştuğu ve bu gerilmelerin arayüzeyde ek çekme gerilmeleri doğurarak kesme dayanımını azalttığı söylenebilir. Ayrıca, manto kalınlığının artması ile kürleşme anında iç yapıdaki düzensizliklerin artmış olabileceği, bu nedenle dayanım değerlerinde azalmalar oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3. Farklı Manto Kalınlığına Sahip Numunelerin Arayüzey Kesme Dayanımları

Manto Kalınlığı (t, mm)	Kesme Dayanımı, $\tau$ (MPa)			
	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama
2,00	8,14	6,67	8,91	7,91
3,00	7,36	6,74	6,98	7,03
4,00	5,43	6,05	6,20	5,89
5,00	3,10	3,26	5,43	3,93



## 5. SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmada, implant-çimento arayüzeyleri test edilerek, kesme dayanımı üzerine yüzey pürüzlülüğünün, implant malzemesinin ve manto kalınlığının etkileri araştırılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün artması ile arayüzey dayanım değerlerinde önemli artışlar tespit edilmiştir. Bağlantı dayanımı üzerine implant malzemesinin önemli bir etkisi tespit edilememiş, titanyum alaşımı numunelerde yaklaşık %3-6 daha yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir. Çimento manto kalınlığının artmasıyla birlikte arayüzey dayanım değerinde yaklaşık %50 azalma tespit edilmiştir. Test sonuçlarına göre, uygulamada manto kalınlığının 2-3 mm'yi geçmemesi önerilebilir. Kesme deney sonuçları ile literatürde [13, 20] verilen normal çekme-kesme deneyleri mukayese edildiğinde aynı yüzey pürüzlülük değerleri için pim-halka kesme deneylerinde yaklaşık %300'e varan oranlarda daha yüksek kesme dayanımları elde edilmiştir. Bu nedenle, kemik-çimento bağlantılarında, bağlantıya mümkün olduğu kadar kesme gerilmesi gelecek şekilde bağlantı geometrileri oluşturulmaya çalışılmalıdır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (PAUBAP) tarafından, 2017FEBE015 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.



## KAYNAKÇA

1. **Bousnane, T., Benbarek, S., Sahli, A., Serier, B., & Bouiadjra, B. A. B.** 2018. "Damage of the bone-cement interface in finite element analyses of cemented orthopaedic implants", *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*, 62 (2), 173-178. Doi: 10.3311/PPme.11851.
2. **Koçak, S., Şekercioğlu, T.** 2019 "Experimental and numerical static failure analyses of total hip replacement interfaces", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine*, 233 (11), 1183-1195. Doi: 10.1177/0954411919877305.
3. **Ramaniraka, N.A., Rakotomanana, L.R., Leyvraz, P.F.** 2000. "The fixation of the cemented femoral component: effects of stem stiffness, cement thickness and roughness of the cement-bone surface", *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 82-B (2), 297-303. Doi: 10.1302/0301-620X.82B2.0820297.
4. **Mann, K.A., Mocarski, R., Damron, L.A., Allen, M.J., Ayers, D.C.** 2001. "Mixed-mode failure response of the cement-bone interface", *Journal of Orthopaedic Research*, 19 (6), 1153-1161. Doi: 10.1016/S0736-0266(01)00036-5.
5. **Kim, D.G., Miller, M.A., Mann, K.A.** 2004. "A fatigue damage model for the cement-bone interface", *Journal of Biomechanics*, 37 (10), 1505-1512. Doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.01.011.
6. **Kim, D.G., Miller, M.A., Mann, K.A.** 2004. "Creep dominates tensile fatigue damage of the cement-bone interface", *Journal of Orthopaedic Research*, 22 (3), 633-640. Doi: 10.1016/j.orthres.2003.09.007.
7. **Mann, K.A., Miller, M.A., Cleary, R.J., Janssen, D., Verdonschot, N.** 2008. "Experimental micromechanics of the cement-bone interface", *Journal of Orthopaedic Research*, 26 (6), 872-879. Doi: 10.1002/jor.20575.
8. **Mann, K.A., Miller, M.A., Race, A., Verdonschot, N.** 2009. "Shear fatigue micromechanics of the cement-bone interface: an in vitro study using digital image correlation techniques", *Journal of orthopaedic research*, 27 (3), 340-346. Doi: 10.1002/jor.20777.
9. **Wang, J.Y., Tozzi, G., Chen, J., Contal, F., Lupton, C., Tong, J.** 2010. "Bone-cement interfacial behaviour under mixed mode loading conditions", *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 3 (5), 392-398. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2010.03.001.
10. **Paczocho, P., Indacochea, J.E.** 2004. "Effect of Preheating on Implant-Cement Interface Strength for Hip Replacement", *Advances in Technology of Materials and Materials Processing*, 6 (2), 142-151.
11. **Messick, K.J., Miller, M.A., Damron, L.A., Race, A., Clarke, M.T., Mann, K.A.** 2007. "Vacuum-mixing cement does not decrease overall porosity in cemented fe-



- moral stems: an in vitro laboratory investigation”, The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume, 89 (8), 1115-1121. Doi: 10.1302/0301-620X.89B8.19129.
12. **Ramos, A., Simões, J.A.** 2009. “The influence of cement mantle thickness and stem geometry on fatigue damage in two different cemented hip femoral prostheses”, Journal of Biomechanics, 42 (15), 2602-2610. Doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.06.037.
  13. **Zelle, J., Janssen, D., Peeters, S., Brouwer, C., Verdonschot, N.** 2011. “Mixed-mode failure strength of implant-cement interface specimens with varying surface roughness”, Journal of Biomechanics, 44 (4), 780-783. Doi: 10.1016/j.jbiomech.2010.10.037.
  14. **Cools, P., Geyter, N., Vanderleyden, E., Barberis, F., Dubruel, P., Morent, R.** 2016. “Adhesion improvement at the PMMA bone cement-titanium implant interface using methyl methacrylate atmospheric pressure plasma polymerization”, Surface and Coatings Technology, 294, 201-209. Doi: 10.1016/j.surfcoat.2016.03.054.
  15. **Yang, D.T., Zhang, D., Arola, D.D.** 2010. “Fatigue of the bone/cement interface and loosening of total joint replacements”, International Journal of Fatigue, 32 (10), 1639-1649. Doi: 10.1016/j.ijfatigue.2010.03.005.
  16. **Miller, M.A., Eberhardt, A.W., Cleary, R.J., Verdonschot, N., Mann, K.A.** 2010. “Micromechanics of postmortem-retrieved cement-bone interfaces”, Journal of Orthopaedic Research, 28 (2), 170-177. Doi: 10.1002/jor.20893.
  17. **Miller, M.A., Race, A., Waanders, D., Cleary, R., Janssen, D., Verdonschot, N., Mann, K.A.** 2011. “Multi-axial loading micromechanics of the cement-bone interface in postmortem retrievals and lab-prepared specimens”, Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials, 4 (3), 366-374. Doi: 10.1016/j.jmbbm.2010.11.004.
  18. **Şekercioğlu, T., Kaner, S.** 2014. “Plastiklerin Yapıştırılmasında Yüzey Hazırlama Yöntemlerinin İncelenmesi”, Mühendis ve Makina, 648, 37-43.
  19. **Kaner, S., Şekercioğlu, T.** 2017. “Effect of Surface Pre-treatments and Ageing on the Adhesive Strength of Polymer Joints”, Polymer (Korea), 41 (5), 827-834. Doi:10.7317/pk.2017.41.5.827.
  20. **Koçak, S.** 2019. Protezlerde Kullanılan Kemik-Çimento Bağlantılarının Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
  21. **Koçak, S., Şekercioğlu, T.** 2020. “Impact strength of cemented implant interfaces”, Materials Testing, 62 (3), 271-276. Doi: 10.3139/120.111481.
  22. BS EN ISO 10123. 2019. Adhesives-Determination of shear strength of anaerobic adhesives using pin and collar specimens.

# Mardin İlinin Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi

Süleyman Atılğan<sup>1</sup>, Adem Yılmaz<sup>2\*</sup>

## ÖZ

Sera gazlarının salınımı ile küresel ısınma, yeryüzündeki normal döngüleri ve iklim koşullarını etkilemektedir. Bu nedenle hem normal döngüleri ve iklim koşullarını etkilemesi hem de fosil yakıtların azalması yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmektedir. Biyogaz kalkınmayı artırmak için önemli bir enerji kaynağıdır. Büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan gübrelerinden biyogaz üretilmesi, bu gübrelerin değerlendirilmesinin en iyi yollarından biridir. Bu araştırmanın amacı Mardin ilinde bulunan hayvansal gübrelerden oluşabilecek biyogaz üretim potansiyelini belirlemektir. Çalışmada Mardin ili genelinde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarının sayıları Mardin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 2019 yılı verilerinden alınmış olup, 128.897 adet büyükbaş, 937.854 adet küçükbaş ve 1.974.809 adet kanatlı hayvanının varlığı tespit edilmiştir. Hesaplamalarda elde edilen verilere göre büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarından oluşabilecek yıllık gübre miktarı hesaplanmış ve 1.163.972,798 ton gübreden 56.778.608,24 m<sup>3</sup> biyogaz elde edilebileceği ve elde edilen biyogazdan yıllık 266.859.488,7 kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yenilenebilir enerji, biyogaz, biyogaz potansiyeli, hayvansal gübre, mardin

## Determination of Biogas Potential from Animal Manure in Mardin Province

### ABSTRACT

Greenhouse gas emissions and global warming affect normal cycles and climate conditions on earth. Thus, both the impact of normal cycles and climate conditions and the decline of fossil fuels lead to renewable energy sources. Biogas is a significant source of energy to increase development. Bovine and ovine manure biogas production is one of the best ways to evaluate this manure. The purpose of this research is to determine the biogas production potential that may occur from animal manures in Mardin province. In the study, the numbers of bovine, ovine and poultry animals in Mardin province were taken from the data of Mardin Provincial Directorate of Agriculture and Forestry in 2019, and the presence of 128.897 bovine, 937.854 ovine and 1.974.809 poultry animals were determined. In accordance with the data obtained in the calculations, annual manure amount that can occur from bovine, ovine and poultry animals has been calculated, and it has been calculated that 56.778.608,24 m<sup>3</sup> of biogas could be obtained from 1.163.972.798 tons of manure and 266.859.488,7 kWh of electrical energy could be obtained from the resulting biogas.

**Keywords:** Renewable energy, biogas, biogas potential, animal manure, mardin

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 05.02.2021

Kabul/Accepted : 24.02.2021

<sup>1</sup> Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji Sistemleri ABD, Batman  
suleyman@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6943-0055

<sup>2</sup> Batman Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Batman  
adem.yilmaz@batman.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7266-0866

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Biogas is regarded as a considerable source of energy to increase development. Producing biogas from bovine and ovine ruminant is one of the best ways to utilize this manure. The purpose of the current study is to determine the biogas production potential that can be generated from animal manure in Mardin province. Producing biogas from animal manure is one of the best ways to utilize this manure. After animal manure is operated through certain processes; biogas is obtained, and electricity is produced from the obtained biogas. In this study, the annual amount of manure and biogas production that was likely to be formed from these manures was determined by taking into account the numbers of bovine, ovine and poultry animals in Mardin province, and the amount of electrical energy that can be produced from the resulting biogas was defined.

### Research Purpose

In this study, the numbers of bovine, ovine and poultry animals in Mardin province were taken from the 2019 data of Mardin Provincial Directorate of Agriculture and Forestry. Then, the distribution of animal livestock in Mardin province and its districts was analyzed. By regarding the numbers of bovine, ovine and poultry animals in the provinces and districts, the annual amount of manure and biogas production that may occur from these manures was determined, and the amount of electrical energy that can be produced from the resulting biogas was determined. A gas that occurs as a result of anaerobic fermentation of organic residues is called biogas. It is odorless, colorless, flammable and burns with a bright blue flame when burned. It is also lighter than air and holds a density of 0.83 against air. Its methane (CH<sub>4</sub>) ratio is 40-75% and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) ratio is 15-60%. It contains a small amount of hydrogen sulfide, carbon monoxide, nitrogen, ammonia, water vapor and oxygen. Between 40% and 60% of organic matter can be converted into biogas [17]. The amount of manure that can be generated from each bovine, ovine and poultry animal per year in biogas production is 3.6 tons, 0.7 tons and 0.022 tons, respectively. The annual amounts of biogas that are likely to be obtained from these manures are 33 m<sup>3</sup>, 58 m<sup>3</sup> and 78 m<sup>3</sup>, respectively [21]. The energy that can be obtained by burning 1 m<sup>3</sup> of biogas is equivalent to burning 3.47 kg of wood or 1.46 kg of coal. Electrical energy is also obtained from biogas energy. 4.7 kWh of electrical energy is obtained from 1 m<sup>3</sup> of biogas [22].

### Methods

According to the 2019 data of Mardin Provincial Directorate of Agriculture and Forestry, there are 3.041.560 animals in total, comprised of 128.897 bovine, 937.854 ovine and 1.974.809 poultry animals throughout the province of Mardin [25]. Considering the bovine, ovine and poultry animals' manures in the province, the annual biogas amount that may be formed is calculated. It has been defined that a total of 56.778.608,24 m<sup>3</sup> of biogas can be produced annually, 15.312.963,6 m<sup>3</sup> from bovine, 38.076.872,4 m<sup>3</sup> from ovine and 3.388.772,244 m<sup>3</sup> from poultry animals throughout the province. It has been observed that biogas can be obtained mostly from ovine animals throughout the province of Mardin. Annual biogas potential amounts that can be generated from animal manures are also available in Adiyaman, Erzincan, Burdur, Batman, Kahramanmaraş, Denizli, Muş, Kırklareli, Adana, Çanakkale, Ankara and Iğdır provinces; however, the province with the highest biogas potential has been Ankara with an annual biogas potential of 101.232.020 m<sup>3</sup>, and the province with the lowest biogas potential has been Adiyaman with an annual biogas potential of 15.012.856 m<sup>3</sup>. The province of Mardin being considered in our research, has an annual biogas potential of 56.778.608 m<sup>3</sup>. Considering the bovine, ovine and poultry animals' wastes in the districts of the province, the annual amount of biogas that can be generated is calculated, and the annual electricity energy that can be produced from this biogas is calculated. It has been determined that 71.970.928,92 kWh of electrical energy can be obtained from bovine animals, 178.961.300,3 kWh from ovine animals and 15.927.229,55 kWh from poultry animals in the province of Mardin, which are 266.859.488,7 kWh in total. The presence of ovine animals in the province is a great potential with 67% to supply electrical energy.

### Conclusions

The reason for our country's external dependence is that it consumes almost 3 times more energy than it produces. In order to minimize external dependence and have a clean environment, we must increase our importance to renewable energy sources as a country. It is certainly that Biogas is a crucial source of energy to increase development and provide a clean environment. As a result of the research; it has been found that animal manure being investigated throughout the province is a prominent source of renewable energy. The biogas that can be produced from these manures will have a huge economic benefit. Annually 15.312.963 m<sup>3</sup> of biogas from 128.897 bovine animals, 38.076.872 m<sup>3</sup> from 937.854 ovine animals and 3.388.772 m<sup>3</sup> from 1.974.809 poultry animals can be obtained in the province of Mardin. Assuming that a person uses an average of 3 m<sup>3</sup> of biogas energy per day, it has been observed that a biogas plant to be established in Derik district with a population of 61.709 will meet the energy needs of 17.809 people per year, that is, 34% of the district's population. In case of establishing biogas facilities throughout the province, the energy requirements of 51.852 people from 3.041.560 animals will be met each year.





## 1. GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler, sanayileşme ve nüfus artışıyla birlikte enerji tüketimi hızlı bir şekilde artmaktadır. Dünyadaki enerji ihtiyacının %80'i petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Dünyada bulunan enerji rezervlerin %33 petrol, %30 kömür, %24 doğal gaz, %7 hidroelektrik enerji, %4 nükleer enerji ve %2 diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıdır [1]. 2017 yılı verilerine göre dünyadaki petrol rezervleri tahmini olarak 1,7 trilyon varildir. Bu değer ortalama olarak 51 yıllık tüketim için yetmesi beklenmektedir. Türkiye'de ise ham petrol rezerv miktarı 7.167 milyar varil olduğu bilinmektedir [2]. Petrol, kömür ve doğalgaz santrallerinin kuruldukları bölgelerdeki tahribatlarla birlikte bütün dünyayı risk altına alan etkileri bulunmakta, kükürt dioksit, karbon dioksit, azot oksit ve toz fosil yakıtlar yakılırken atmosfere yayılmakta ve çevreyi kirletmektedir. Atmosfere yayılan karbon dioksit ve benzeri sera gazları tüm dünyayı tehdit etmekte ve küresel iklim değişikliğine neden olmaktadır [3]. Küresel ısınma ile birlikte kullanımda olan fosil yakıtları mümkün olduğu kadar az tüketmeliyiz. Bununla birlikte doğaya zarar vermeyen küresel ısınmaya yol açmayan enerjilere yönelmeliyiz.

Sürekliliğin sağlanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynaklarının bulunması zorunluluk haline gelmiştir [4]. Fosil yakıtların kullanılmasının önüne geçmek amacıyla biyokütle kullanımı büyük bir önem taşımaktadır. Biyogaz tesislerinin kurulması ile birlikte olabilecek enerji krizleri ve hayvansal gübrelerden meydana gelebilecek çevresel problemler de bertaraf edilebilecektir. Biyogaz tesisleri sera gazlarının salınımını önemli bir ölçüde azalttığından daha sağlıklı bir yaşam alanı oluşturmaktadır. Hayvan atıklarından biyogaz üretilmesi, bu atıkların değerlendirilmesinin en iyi yollarından biridir. Hayvansal atıklar belirli işlemlere alındıktan sonra biyogaz üretimi için uygun bir kaynak olarak görülmekte ve üretilen bu biyogazdan elektrik üretimi önemli bir enerji kaynağını oluşturmaktadır [5]. Bu çalışmada Mardin ilinde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları ele alınarak oluşabilecek yıllık gübre miktarı ile bu gübrelerden oluşabilecek biyogaz üretim miktarı belirlenmiş olup, elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı belirlenmiştir.

M. F. Baran ve ark. 2017 yılında yaptıkları çalışmada Adıyaman ilinin hayvansal atıklarından elde edilebilecek enerji potansiyelini araştırmışlardır. Adıyaman ilindeki 81.733 adet büyükbaş hayvandan  $6.473.253,60 \text{ m}^3\text{yıl}^{-1}$ , 305.724 adet küçükbaş hayvandan  $8.274.929,60 \text{ m}^3\text{yıl}^{-1}$  ve 231.358 adet kanatlı hayvandan  $264.673,50 \text{ m}^3\text{yıl}^{-1}$  biyogaz enerjisi elde edilebilecektir. Bu biyogaz enerjisinden de  $70.560.426,49 \text{ kWh/yıl}^{-1}$  elektrik enerjisi elde edilebileceğini hesaplamışlardır [6]. S. Kocabey 2019 yılında yaptığı çalışmada Balıkesir ilindeki hayvansal atıklardan elde edilebilecek biyogaz potansiyelini belirlemiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda Balıkesir ilinde bulunan 538.682 adet büyükbaş hayvandan  $199.833.612 \text{ m}^3\text{yıl}^{-1}$ , 1.189.854 adet küçükbaş

hayvandan  $23.158.298 \text{ m}^3\text{yıl}^{-1}$  ve  $33.218.109$  adet kümes hayvanından  $167.122.800 \text{ m}^3\text{yıl}^{-1}$  biyogaz enerjisi elde edilebileceğini ve bu enerjilerin elektrik enerjisine dönüştürülmesi halinde  $893.363 \text{ kWh/yıl}$  elektrik enerjisi elde edilebileceğini tespit etmiştir [7]. İ. Doruk ve A. Bozdeveci 2017 yılında yaptıkları çalışmada Denizli ilinin kırsal kesimlerinde hayvansal kaynaklı atıklardan oluşabilecek biyogaz potansiyelini araştırmışlardır. Denizli ilindeki  $233.569$  adet büyükbaş hayvandan günlük  $81.759 \text{ m}^3$   $654.797$  adet küçükbaş hayvandan günlük  $98.220 \text{ m}^3$  ve  $3.481.736$  adet kanatlı hayvandan günlük  $12.256 \text{ m}^3$  biyogaz elde edilebileceği hesaplanmıştır. Bu biyogazdan yıllık  $329$  milyon  $\text{kWh}^{-1}$  elektrik enerjisi elde edilebileceği bulunmuştur [8]. S. Altıkat ve A. Çelik 2011 yılında yaptıkları çalışmada Iğdır ilinin hayvansal kaynaklı biyogaz potansiyelini araştırmışlardır. Yapılan araştırmalar sonucunda Iğdır ilinde bulunan  $84.484$  büyükbaş,  $502.177$  küçükbaş ve  $144.450$  kanatlı hayvandan toplamda yıllık  $21.441$  milyon  $\text{m}^3$  biyogaz ve bu biyogazdan da  $100$  milyon  $\text{kWh}$  elektrik enerjisi elde edilebileceğini hesaplamışlardır [9].

G.H. Çağlayan ve N.N. Koçer 2014 yılında yaptıkları çalışmada Muş ilindeki hayvan potansiyelinin değerlendirilerek biyogaz üretimini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada Muş ilinde bulunan  $208.882$  adet büyükbaş hayvandan  $24.815.181 \text{ m}^3/\text{yıl}$  biyogaz  $1.209.979$  adet küçük hayvandan ise  $49.125.147 \text{ m}^3/\text{yıl}$  biyogaz enerjisi elde edilebileceğini hesaplamışlardır [10]. H.N. Poyraz ve ark. 2020 yılında yaptıkları çalışmada Kayseri ilindeki büyükbaş hayvan atıklarından oluşabilecek biyogaz potansiyelini araştırmışlar. Yapılan araştırmada  $31.915$  büyükbaş hayvandan  $2.134.638 \text{ m}^3/\text{yıl}$  biyogaz edilebileceğini hesaplamışlardır [11]. N.N. Koçer ve G. Kurt 2013 yılında yaptıkları çalışmada Malatya ilinde bulunan hayvan potansiyelini ve bu hayvan atıklarından biyogaz üretim potansiyelini araştırmışlardır. Malatya ilinde bulunan  $125.824$  büyükbaş,  $249.191$  küçükbaş ve  $1.757.442$  kanatlı hayvandan  $31.990.425 \text{ m}^3/\text{yıl}$  biyogaz elde edilebileceğini hesaplamışlardır [12]. E. Kalaycı ve ark. 2019 yılında yaptıkları çalışmada Kırklareli ilinin hayvansal atıklarından biyogaz üretim potansiyelini hesaplamışlardır. Yapılan çalışmada  $148.123$  adet büyükbaş,  $534.890$  adet küçükbaş ve  $586.403$  adet kanatlı hayvan atığından toplam  $86.503.832 \text{ m}^3/\text{yıl}$  biyogaz elde edilebileceğini hesaplamışlardır. Bu tür çalışmaların desteklenmesi ve teknolojilerini geliştirilmesinin önemine vurgu yapmışlardır [13]. C. Karaca 2017 yılında yaptığı çalışmada Hatay ilinin hayvansal gübre kaynağından üretilebilecek biyogaz potansiyelini hesaplamıştır. Yapılan çalışmada Hatay ilinde bulunan  $88.050$  adet süt sığırtı ve  $339.080$  adet yumurta tavuğundan toplam  $14.943.719 \text{ m}^3/\text{yıl}$  biyogaz elde edilebileceğini hesaplamıştır. Yapılan ve buna benzer çalışmalarını destekleyen projelerin olması halinde ekonomiye büyük katkıların sağlanabileceğini belirtmişlerdir [14].

M.E. Yıldız, Ö. Çağırtekin ve A. Yılmaz 2019 yılında yaptıkları çalışmada Batman ilinde bulunan organik atıklarından oluşabilecek biyogaz potansiyelini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada Batman ilinde bulunan organik atıklardan yıllık  $42.246.925 \text{ m}^3$



biyogaz elde edilebileceğini hesaplamışlardır. Ayrıca Batman ilindeki 107.374 adet büyükbaş hayvandan 634.949 m<sup>3</sup>/gün, 719.919 adet küçükbaş hayvandan 80.078 m<sup>3</sup>/gün ve 152.792 adet kanatlı hayvandan 718 m<sup>3</sup>/gün biyogaz enerjisi elde edilebileceği ve bu enerjiden de 544.000 kWh/gün elektrik enerjisi elde edilebileceğini hesaplamışlardır [15]. A. Yılmaz 2019 yılında Türkiye’de biyogaz üretimi ve kurulu santrallerin ürettiği elektrik enerjisini araştırmıştır. Yapılan çalışmada 2017 yılı itibarıyla Türkiye’de 122 adet lisanslı ve kurulu 634,2 MW gücünde yenilenebilir atık enerji santrallerinin olduğunu tespit etmiştir [16].

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Mardin ilinde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvanlarının sayıları Mardin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü 2019 yılı verilerinden alınmıştır. Daha sonra Mardin ili ve ilçelerinin hayvan varlığı dağılımı analiz edilmiştir. İl ve ilçelerde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları ele alınarak oluşabilecek yıllık gübre miktarı ile bu gübrelerden oluşabilecek biyogaz üretim miktarı belirlenmiş olup, elde edilen biyogazdan üretilebilecek elektrik enerjisi miktarı belirlenmiştir.

### 2.1. Biyogaz

Organik atık maddelerin anaerobik fermantasyonu sonucu ortaya çıkan gazı biyogaz denir. Kokusuz, renksiz, yanıcı ve yandığında parlak mavi alevle yanan bir gazdır. Havadan hafif ve havaya karşı yoğunluğu 0,83’tür. Birleşiminin metan (CH<sub>4</sub>) oranı %40-75 ve karbondioksit (CO<sub>2</sub>) oranı ise %15-60’lardadır. İçeriğinde az miktarda hidrojen sülfür, karbon monoksit, azot, amonyak, su buharı ve oksijen bulunmaktadır. Organik maddelerin %40 ile %60 arası miktarı biyogaza dönüştürülebilmektedir [17].

Anaerobik fermantasyon ortamının sıcaklığına göre gruplara ayrılmaktadır. Fermantas-

**Tablo 1.** Biyogazın Temel Birleşenleri [17]

Bileşen Adı	Hacimsel Oranı	Birim
Metan (CH <sub>4</sub> )	40-75	%
Karbondioksit (CO <sub>2</sub> )	15-60	%
Su buharı (H <sub>2</sub> O)	1-5	%
Azot (N <sub>2</sub> )	0-5	%
Oksijen (O <sub>2</sub> )	<2%	%
Hidrojen (H <sub>2</sub> )	<1	%
Amonyak (NH <sub>3</sub> )	0-500	ppm
Hidrojen Sülfür (H <sub>2</sub> S)	0-5000	ppm

yon 5-25°C arasındaki sıcaklıklarda sakrofobik, 30-40°C arasındaki sıcaklıklarda mezofilik ve 50-62 °C arasındaki sıcaklıklarda ise termofilik fermantasyon olarak adlandırılır [18].

Metan gazı en kötü sera gazlarından biri olduğu bilinmektedir. Sera gazlarının azaltılması gerektiğinden biyogazın kullanılması ve üretilmesi hem ekonomik hem de insan sağlığı açısından önemlidir. Biyogaz üretildikten sonra geriye kalan atık madde, kokusuz ve kullanıma daha elverişli bir gübre olmaktadır. Hem çevreci hem ucuz olarak atıkların değerlendirilmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla ülkemizde ve dünyada hayvancılığın gelişmesi yönünde teşvik edici bir unsur haline gelmektedir. Kalkınmaya katkısının olduğu apaçık ortada ve ülkelerin dışarıya olan enerji bağımlılığını azaltmaktadır [19]. Biyogaz üretim potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan günlük atık miktarlarının hesaplanması büyükbaş hayvanlar için toplam ağırlığının %5'i ile %6'sı kadarı, küçükbaş hayvanlar için toplam ağırlığının %4'ü ile %5'i kadarı ve kümes hayvanları için toplam ağırlığının %3'ü ile %4'ü kadarı dikkate alınmaktadır [20].

Hayvan ağırlığı bazında üretilebilecek günlük ve yıllık yaş gübre miktarları verilerine göre yıllık her büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvandan oluşabilecek atık miktarı sırasıyla 3,6 ton, 0,7 ton ve 0,02 ton'dur. Bu verilere göre 1 ton yaş gübreden yıllık elde edilebilecek biyogaz miktarı ise sırasıyla 33 m<sup>3</sup>, 58 m<sup>3</sup> ve 78 m<sup>3</sup>'tür [21].

**Tablo 2.** Kabullerde Kullanılan Ortalama Yaş Gübre ve Biyogaz Üretim Değerleri [21]

Hayvan Türü	Yıllık Ortalama Yaş Gübre Miktarı (Ton)	1 Ton Yaş Gübreden Yıllık Ortalama Biyogaz Potansiyeli (m <sup>3</sup> )
Büyükbaş	3,6	33
Küçükbaş	0,7	58
Kanatlı	0,02	78

1 m<sup>3</sup> biyogazın yakılmasıyla elde edilebilecek enerji ile 3,47 kg odunun veya 1,46 kg kömürün yakılması eşdeğerdir. Biyogaz enerjisinden elektrik enerjisi de elde edilmektedir. 1 m<sup>3</sup> biyogazdan 4,7 kWh elektrik enerjisi elde edilir [22].

Biyogaz temel olarak Hidroliz, Asit Oluşturma ve Metan Oluşumu olmak üzere 3 kısımdan oluşmaktadır. mikroorganizmaların salgıladıkları enzimler ile çözünür halde bulunmayan maddelerin parçalaması ilk aşamayı oluşturur. Organik maddeleri aside,

**Tablo 3.** 1 m<sup>3</sup> Biyogazdan Elde Edilebilecek Farklı Enerji Eşdeğerleri [22]

	Elektrik	Gaz	Motorin	Butan	Propan	Kömür	Odun
1 m <sup>3</sup> Biyogaz	4,7 kWh	0,62 L	0,66 L	0,43 kg	0,25 m	1,46 kg	3,47 kg



hidrojene ve karbondioksit gibi küçük yapılı maddelere dönüşmeleri ikinci aşamadır. Üçüncü aşamada ise  $CH_4$  ve  $CO_2$ , az miktarlarda  $N_2$  ve  $O_2$  gazları oluşmaktadır [23].

## 2.2 Çalışma Alanı

Mardin ili Güneydoğu Anadolu Bölgesinin Dicle Bölümünde yer almakta ve yüzölçümü  $8.779 \text{ km}^2$ 'dir.  $39^\circ56'$  -  $42^\circ54'$  doğu boylamları ve  $36^\circ55'$  -  $38^\circ51'$  kuzey enlemle-

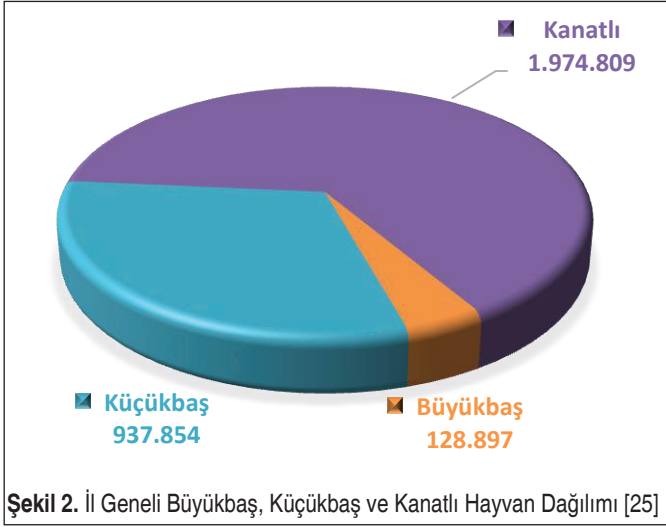


ri arasında olan Mardin, Yukarı Mezopotamya bölgesinde yer almaktadır. Kuzeyinde Batman ve Diyarbakır illeri, batısında Şanlıurfa ili, doğusunda Şırnak ili, kuzeydoğusunda Siirt ili bulunmaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nin Dicle Bölümü'nde yer alır. Suriye ile sınır komşusudur. Artuklu, Dargeçit, Derik, Kızıltepe, Mazıdağı, Midyat, Nusaybin, Ömerli, Savur ve Yeşilli olmak üzere 10 ilçesi vardır. 2019 yılı sonu il nüfusu 838.778'dir [24]. İl genelinde karasal iklim özellikleri görülmektedir. İlde tarım faaliyetleri ve hayvan yetiştiriciliği yoğundur.

## 2.3 Hayvansal Veriler

Mardin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü'nün 2019 yılı verilerine göre Mardin ili genelinde 128.897 adet büyükbaş, 937.854 adet küçükbaş ve 1.974.809 adet kanatlı hayvan olmak üzere toplam 3.041.560 adet hayvan bulunmaktadır [25].

Tablo 4'te görüldüğü gibi il genelinde en fazla büyükbaş hayvanın bulunduğu ilçe 62.549 adet ile Derik, en az büyükbaş hayvanın bulunduğu ilçe ise 1.340 adet ile



**Tablo 4.** İlçelerde Bulunan Büyükbaş, Küçükbaş ve Kanatlı Hayvan Sayıları [25]

	Büyükbaş Hayvan	Küçükbaş Hayvan	Kanatlı Hayvan
Artuklu	6.355	102.980	533.687
Dargeçit	9.150	43.677	6.291
Derik	62.549	296.650	14.299
Kızıltepe	7.000	58.000	354.592
Mazıdağı	10.426	134.846	14.307
Midyat	15.862	57.319	618.589
Nusaybin	7.098	100.648	56.750
Ömerli	2.787	28.124	12.164
Savur	6.330	73.259	8.890
Yeşilli	1.340	42.351	355.240
<b>Toplam</b>	<b>128.897</b>	<b>937.854</b>	<b>1.974.809</b>

Yeşilli ilçesidir. En fazla küçükbaş hayvanın bulunduğu ilçe 296.650 adet ile Derik, en az küçükbaş hayvanın bulunduğu ilçe ise 28.124 adet ile Ömerli ilçesidir. En fazla kanatlı hayvanın bulunduğu ilçe 618.589 adet ile Midyat, en az kanatlı hayvanın bulunduğu ilçe ise 6.291 adet ile Dargeçit ilçesidir [25].



## 2.4 Teorik Analiz

Atık miktarı, biyogaz üretim miktarı ve elektrik üretim miktarlarının hesaplanmasında aşağıdaki eşitlikler kullanılmıştır.

$$YAM=(HS \times HYÜM) \quad (1)$$

Eşitlik 1’de; YAM: Yıllık Atık Miktarı, HS: Hayvan Sayısı, Hayvan Başına Yıllık Üretim Miktarı

$$YBM=(YAM \times BDO) \quad (2)$$

Eşitlik 2’de; YBM: Yıllık Biyogaz Miktarı, YAM: Yıllık Atık Miktarı, BDO: Biyogaz Dönüşüm Oranı

$$YEM=(YBM \times EDO) \quad (3)$$

Eşitlik 3’de; YEM: Yıllık Elektrik Miktarı, YBM: Yıllık Biyogaz Miktarı, EDO: Elektrik Dönüşüm Oranı

## 2.5 Hayvanlardan Elde Edilebilecek Gübre Potansiyeli

İlde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan sayıları dikkate alınarak oluşabilecek yıllık gübre miktarları hesaplanarak Tablo 5’te gösterilmiştir. Eşitlik 1 kullanılarak il genelinde toplam 1.163.972,978 ton atığın oluşabileceği tespit edilmiş ve hesaplamalara göre en fazla gübre oluşabilecek ilçe Derik, en az gübre oluşabilecek ilçenin Ömerli olduğu görülmüştür. En fazla büyükbaş ve küçükbaş hayvan atığının oluşabileceği ilçe Derik, en fazla kanatlı hayvan atığının oluşabileceği ilçenin Midyat olduğu hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** İlçelerde Bulunan Hayvanlardan Oluşabilecek Yıllık Gübre Miktarı (ton)

	Büyükbaş Hayvan	Küçükbaş Hayvan	Kanatlı Hayvan	Toplam
Artuklu	22.878	72.086	11.741,1	106.705,114
Dargeçit	32.940	30.573,9	138,4	63.652,302
Derik	225.176,4	207.655	314,5	433.145,978
Kızıltepe	25.200	40.600	7.801	73.601,024
Mazıdağı	37.533,6	94.932,2	314,7	132.240,554
Midyat	57.103,2	40.123,3	13.608,9	110.835,458
Nusaybin	25.552,8	70.453,6	1.248,5	97.254,9
Ömerli	10.033,2	19.686,8	267,6	29.987,608
Savur	22.788	51.281,3	195,5	74.264,88
Yeşilli	4.824	29.645,7	7.815,2	42.284,98
<b>Toplam</b>	<b>464.029,2</b>	<b>656.497,8</b>	<b>43.445,798</b>	<b>1.163.972,798</b>

## 2.6 Biyogaz Üretim Potansiyeli

İlde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan gübreleri dikkate alınarak oluşabilecek yıllık biyogaz miktarı hesaplanarak Tablo 6'da gösterilmiştir. Eşitlik 2 kullanılarak il genelinde büyükbaş hayvanlardan 15.312.963,6 m<sup>3</sup>, küçükbaş hayvanlardan 38.076.872,4 m<sup>3</sup> ve kanatlı hayvanlardan 3.388.772,244 m<sup>3</sup> olmak üzere yıllık toplam 56.778.608,24 m<sup>3</sup> biyogaz oluşabileceği tespit edilmiştir. Mardin ili genelinde biyogazın en fazla küçükbaş hayvanlardan elde edilebileceği görülmüştür.

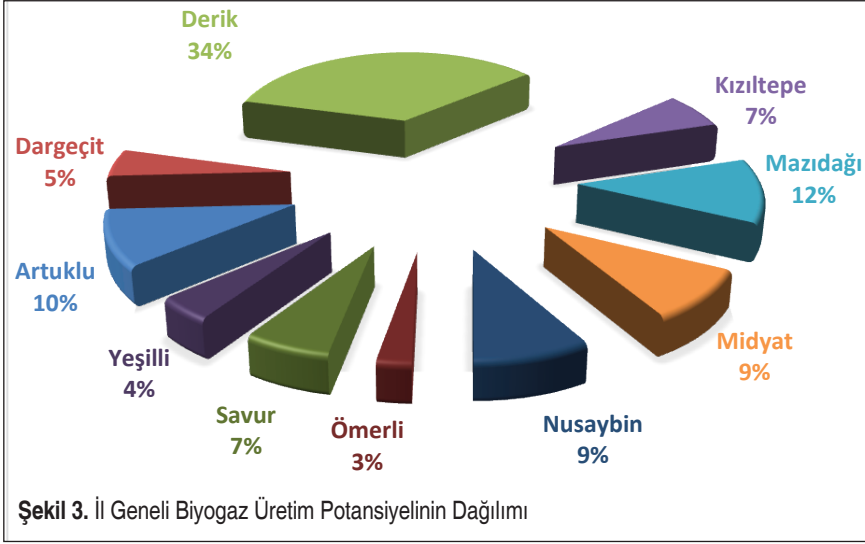
**Tablo 6.** İlçelerde Bulunan Hayvanlardan Oluşabilecek Yıllık Biyogaz Miktarı (m<sup>3</sup>)

	Büyükbaş Hayvan	Küçükbaş Hayvan	Kanatlı Hayvan	Toplam
Artuklu	754.974	4.180.988	915.806,892	5.851.768,892
Dargeçit	1.087.020	1.773.286,2	10.795,356	2.871.101,556
Derik	7.430.821,2	12.043.990	24.537,084	19.499.348,25
Kızıltepe	831.600	2.354.800	608.479,872	3.794.879,872
Mazıdağı	1.238.608,8	5.474.747,6	24.550,812	6.737.907,212
Midyat	1.884.405,6	2.327.151,4	1.061.498,724	5.273.055,724
Nusaybin	843.242,4	4.086.308,8	97.383	5.026.934,2
Ömerli	331.095,6	1.141.834,4	20.873,424	1.493.803,424
Savur	752.004	2.974.315,4	15.255,24	3.741.574,64
Yeşilli	159.192	1.719.450,6	609.591,84	2.488.234,44
<b>Toplam</b>	<b>15.312.963,6</b>	<b>38.076.872,4</b>	<b>3.388.772,244</b>	<b>56.778.608,24</b>

İlçeler bazında bakıldığında en fazla biyogaz üretim potansiyeline sahip olan ilçe %34 ile Derik ilçesi olup, ardından %12 ile Mazıdağı, %10 ile Artuklu, %9 ile Midyat ve Nusaybin, %7 ile Kızıltepe ve Savur, %5 ile Dargeçit, %4 ile Yeşilli ve %3 ile Ömerli ilçeleri geldiği Şekil 3'te görülmektedir. Derik ilçesinin önemli bir biyogaz potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir.

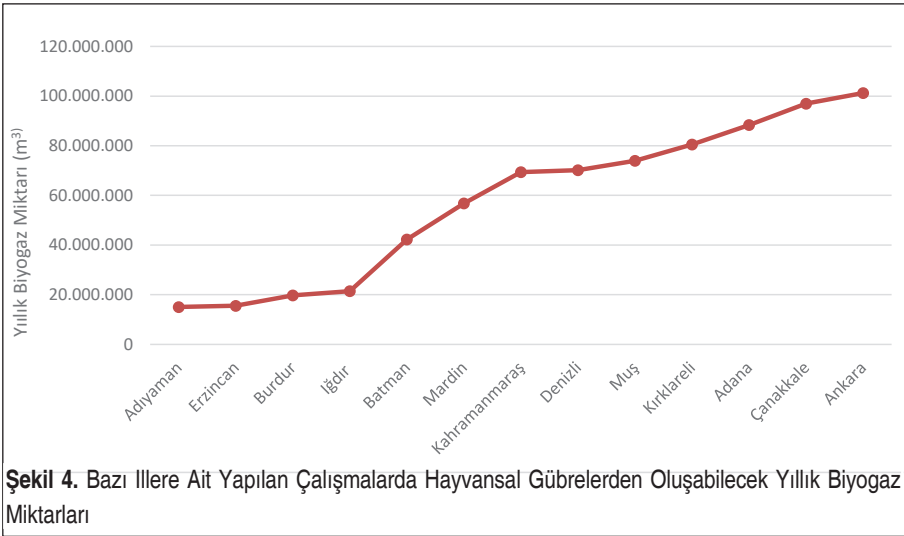
Adıyaman, Erzincan, Burdur, Batman, Kahramanmaraş, Denizli, Muş, Kırklareli, Adana, Çanakkale, Ankara ve Iğdır illeri için hayvansal gübrelerden oluşabilecek yıllık biyogaz potansiyel miktarları grafik halinde Şekil 4'de gösterilmiştir. Anılan iller arasında en fazla biyogaz potansiyeline sahip il yıllık 101.232.020 m<sup>3</sup> ile Ankara, en az biyogaz potansiyeline sahip il ise yıllık 15.012.856 m<sup>3</sup> biyogaz potansiyeli ile





Adıyaman ili olmuştur. Araştırmamızda ele aldığımız Mardin ili ise yıllık 56.778.608 m<sup>3</sup> biyogaz potansiyeline sahiptir.

Adıyaman, Erzincan, Burdur, Batman, Kahramanmaraş, Denizli, Muş, Kırklareli, Adana, Çanakkale, Ankara ve Iğdır illeri için yapılan çalışmalar ve elde edilen verilere göre hayvansal gübrelerden oluşabilecek yıllık biyogaz potansiyel miktarları Tablo 7’de gösterilmiştir.



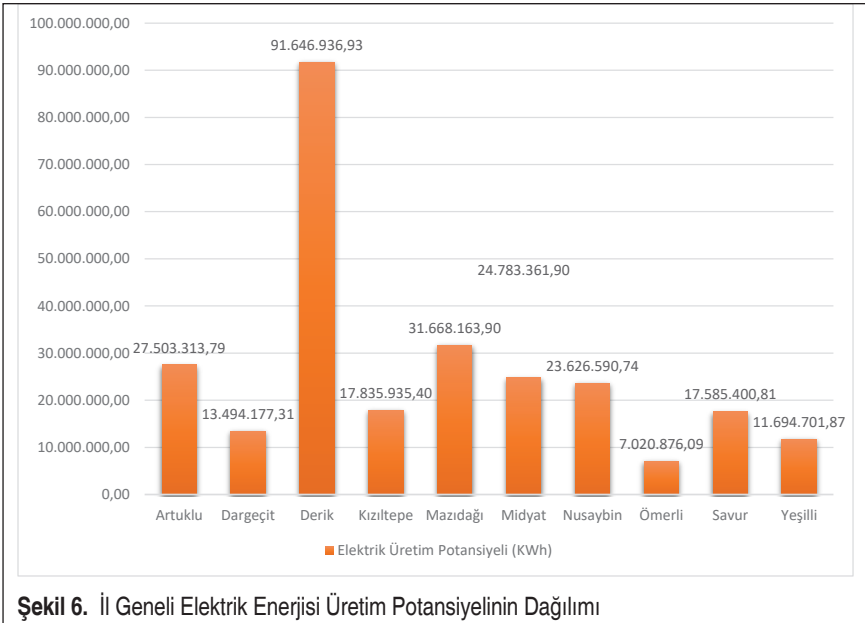
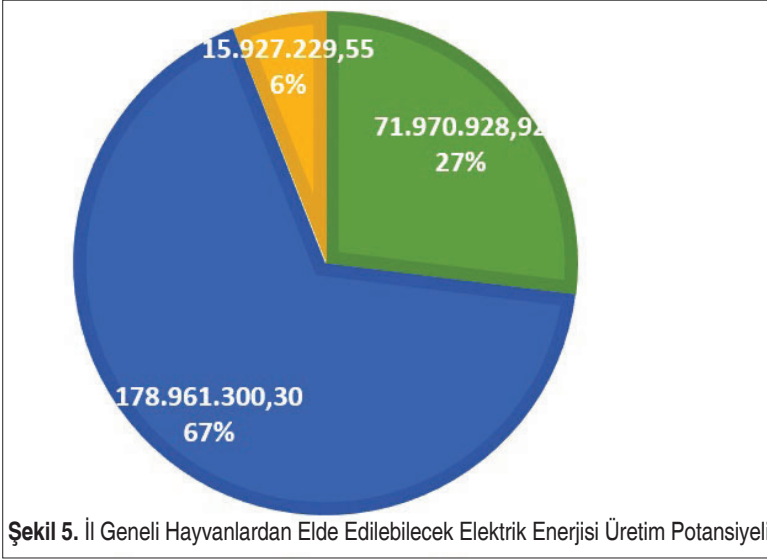
**Tablo 7.** Bazı illere Ait Yapılan Çalışmalarda Hayvansal Gübrelerden Oluşabilecek Yıllık Biyogaz Miktarları

No	Çalışmayı Yapanlar	Yapılan Çalışma	Yıl	Sonuç	Kaynak
1	Baran ve ark.	Adıyaman İlinin Hayvansal Gübrelerden Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli	2017	15.012.856 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[6]
2	Kurnuç Seyhan ve Badem	Erzincan İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması	2018	15.511.011 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[30]
3	Sertaç Görgülü	Burdur İlinin Hayvansal ve Bazı Tarımsal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi	2019	19.723.920 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[29]
4	Altıkat ve Çelik	İğdır İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli	2011	21.441.000 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[9]
5	Yıldız ve ark.	Organic Material Potential And Energy Analysis For Biogas Application Of Batman	2019	42.246.925 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[15]
6	Atılğan ve Yılmaz	Mardin İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi	2021	56.778.608 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	
7	Ay ve Kaya	Kahramanmaraş İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli	2020	69.378.737 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[31]
8	Doruk ve Bozdeveci	Denizli İlinin Kırsal Kesimlerinde Hayvansal Kaynaklı Atıklardan Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi	2017	70.165.775 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[8]
9	Çağlayan ve Koçer	Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimine Araştırılması	2014	73.940.378 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[10]
10	Kalaycı ve ark.	Kırklareli İlinin Hayvansal Atık Potansiyelinin Biyogaz Üretimi Çerçevesinde Değerlendirilmesi ve Güncel Yapının Yorumlanması	2019	80.503.832 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[13]
11	Yağlı ve Koç	Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama	2019	88.367.417 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[28]
12	Rüştü İgar	Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma	2016	96.934.753 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[26]
13	Şenol ve ark.	Biyogaz Üretimi İçin Ankara'nın Başlıca Organik Atık Kaynakları	2017	101.232.020 m <sup>3</sup> yıl <sup>-1</sup>	[27]



## 2.7 Elektrik Üretim Potansiyeli

İlin ilçelerinde bulunan büyükbaş, küçükbaş ve kanatlı hayvan atıkları dikkate alınarak oluşabilecek yıllık biyogaz miktarı hesaplandıktan sonra bu biyogazdan üretilebilecek yıllık elektrik enerjisi miktarı hesaplanarak grafik halinde Şekil 4'te gösterilmiştir.



Eşitlik 3 kullanılarak il genelinde büyükbaş hayvanlardan 71.970.928,92 kWh, küçükbaş hayvanlardan 178.961.300,3 kWh ve kanatlı hayvanlardan ise 15.927.229,55 kWh olmak üzere toplam 266.859.488,7 kWh elektrik enerjisi elde edilebileceği tespit edilmiştir. İldeki küçükbaş hayvanların varlığı elektrik enerjisi elde edilmesi için %67 ile büyük bir potansiyeldir.

İlçeler bazında elektrik enerjisi üretim potansiyeline bakıldığında biyogaz üretim potansiyeli ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. En fazla yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli olan ilçe 91.646.936,93 kWh ile Derik ilçesi, en az yıllık elektrik enerjisi üretim potansiyeli olan ilçe ise 7.020.87,09 kWh ile Ömerli ilçesidir. İlçeler bazında elektrik enerjisi üretim potansiyelinin dağılımı grafik haline getirilerek Şekil 5'te gösterilmiştir.

### 3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin dışa bağımlılığının sebebi ürettiği enerjinin neredeyse 3 katını tüketmesidir. Dışa bağımlılığı en aza indirmek ve temiz bir çevre için ülke olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına verdiğimiz önemi artırmalıyız. Biyogaz kalkınmayı artırmak ve temiz bir çevre için önemli bir enerji kaynağıdır. Araştırma sonucunda il genelinde bulunan hayvansal atıkların önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olduğu tespit edilmiştir. Bu gübrelerden üretilebilecek biyogaz büyük bir ekonomik fayda sağlayacaktır. Mardin ilinde ortalama 128.897 büyükbaş hayvandan yıllık 15.312.963 m<sup>3</sup>, 937.854 adet küçükbaş hayvandan yıllık 38.076.872 m<sup>3</sup> ve 1.974.809 kanatlı hayvandan yıllık 3.388.772 m<sup>3</sup> biyogaz sağlanabilmektedir. Bir kişinin günlük ortalama 3 m<sup>3</sup> biyogaz enerjisi kullandığını varsayarsak, 61.709 nüfusu olan Derik ilçesinde kurulacak bir biyogaz tesisinin yıllık 17.809 kişinin yani ilçe nüfusunun %34'ünün enerji ihtiyacını karşılayacağı görülmüştür. İl genelinde ise biyogaz tesisleri kurulması durumunda 3.041.560 adet hayvandan yıllık 51.852 kişinin enerji ihtiyacı karşılanabilecektir.

### KAYNAKÇA

1. **Koç, E., Kaya, K.** 2015. "Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu", Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 668, s. 36-47. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/54338/736171>
2. **Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ.** 2018. "Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi", Mühendis ve Makine, cilt 59, sayı 692, s. 86-114. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/48388/614281>
3. **Altun, Y., İşleyen, Ş.** 2018. "Bazı OECD Ülkelerinde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretimine Yönelim Üzerine Ampirik Bir Çalışma", Atatürk Üniv. Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 22 (3) , 1577-1590 . <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunisosbil/issue/39594/413159>



4. **Yılmaz, A., Ünvar, S., Koca, T. ve Koçer, A.** 2017. “Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Biyogaz Üretimi İstatistik Bilgileri”, *Technological Applied Sciences*, cilt 12, sayı 4, s.218-232. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/nwsatecapsci/issue/31523/339927>
5. **Tolay, M., Karadeniz, H.Y., Yardımcı, S. ve Reiter, R.** 2008. “Hayvansal Atıklardan Biyogaz Üretimi”, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES, İstanbul. <http://www.solar-academy.com/menus/hayvansal-atiklardan-biyogaz-uretimi.014830.pdf>
6. **Baran, M. F., Lüle, F. ve Gökdoğan, O.** 2017. “Adıyaman İlinin Hayvansal Atıklardan Elde Edilebilecek Enerji Potansiyeli”, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi*. 4 (3): 245–249. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/328182>
7. **Kocabey, S.** 2019. “Balıkesir İli İçin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 17, S. 234-243*. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/841309>
8. **Doruk, İ. ve Bozdeveci, A.** 2017. “Denizli İlinin Kırsal Kesimlerinde Hayvansal Kaynaklı Atıklardan Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi”, *İğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 181-186. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/jist/issue/34626/389934>
9. **Altıkat, S. ve Çelik, A.** 2012. “İğdır İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli”, *İğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Der.*, 61-66. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/89140>
10. **Çağlayan, G., Koçer, N.** 2014. “Muş İlinde Hayvan Potansiyelinin Değerlendirilerek Biyogaz Üretimine Araştırılması”, *Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Cilt 2, Sayı 1, s. 215-220. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/msufbd/issue/19658/209876>
11. **Nurullah, H., Elden, G., Genç, G.** 2020. “Kayseri İli İçin Büyükbaş Hayvan Atığından Biyogaz ve Elektrik Üretim Potansiyelinin ve Maliyetinin Araştırılması”, *DÜMF Mühendislik Dergisi* 11:3 (2020): pp. 1175-1185. <https://doi.org/10.24012/dumf.745837>
12. **Koçer, N.N. ve Kurt, G.** 2013. “Malatya’da Hayvancılık Potansiyeli ve Biyogaz Üretimi”, *SAÜ. Fen Bil. Der.* 17. Cilt, 1. Sayı, s. 1-8. <http://oaji.net/articles/2014/1084-1418303054.pdf>
13. **Kalaycı, E., Türker G. ve Çağlar, E.** 2019. “Kırklareli İlinin Hayvansal Atık Potansiyelinin Biyogaz Üretimi Çerçevesinde Değerlendirilmesi ve Güncel Yapının Yorumlanması”, *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi* 8 (4), 1489-1497. <https://app.trdizin.gov.tr/makale/TXpneE56TTBOQT09/kirklareli-ilinin-hayvansal-atik-potansiyelinin-biyogaz-uretimi-cercevesinde-degerlendirilmesi-ve-guncel-yapinin-yorumlanmasi>
14. **Karaca C.** 2017. “Hatay İlinin Hayvansal Gübre Kaynağından Üretilen Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi”, *Mustafa Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 22(1):34-39. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/mkuzfd/issue/30381/285045>



15. **Yıldız, M.E., Çağırtekin, Ö. ve Yılmaz, A.** 2019. “Organic Material Potential And Energy Analysis For Biogas Application Of Batman”, European Journal of Technique. <https://doi.org/10.36222/ejt.529824>
16. **Yılmaz, A.** 2019. “Türkiye’de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi”, Ecological Life Sciences. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/645528>
17. **Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S., Iyyappan, J.** 2018. “Biogas Production-A Review on Composition, Fuel Properties”, Feed Stock and Principles of Anaerobic Digestion. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 90, 570-582.
18. **Ogejo, J., Wen, Z., Ignosh, J., Bendfeldt, E., and Collins Jr., E.** 2009. “Biomethane Technology. Virginia Cooperative Extension”, (Publication 442-881), 1–11.
19. **Türker, M.** 2003. “Anaerobik Biyoteknoloji: Türkiye ve Dünya’daki Eğilimler”, 2. Ulusal Çevre Kirliliği Kontrolü Sempozyumu, 22-24 Ekim, ODTÜ, s. 228-236, <https://www.biyogazder.org/makaleler/mak03.pdf>
20. **Avcioglu, A.O.** 2012. “Status and potential of biogas energy from animal wastes in Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16. s. 1557– 1561.
21. Biyogaz, Hayvansal Kaynaklardan Elde Edilebilecek Ortalama Gübre ve Biyogaz Miktarları, [https://www.emo.org.tr/ekler/75d66314dc56a0d\\_ek.doc?tipi=38&туру=X&sube=0](https://www.emo.org.tr/ekler/75d66314dc56a0d_ek.doc?tipi=38&туру=X&sube=0), Erişim Tarihi:01/02/2021
22. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <https://www.enerji.gov.tr>, Erişim tarihi:23/12/2020
23. **Kankılıç, T., Topal, H.** 2015. “Belediye Atıklarından Düzenli Depolama Sahalarında Biyogaz ve Enerji Üretimi”, Mühendis ve Makina, cilt 56, sayı 669, s.58-69. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/54339/736214>
24. <https://tr.wikipedia.org/wiki/Mardin>, Erişim tarihi:24/12/2020
25. Mardin İl Tarım ve Orman Müdürlüğü Verileri. 2019. <https://mardin.tarimorman.gov.tr/>, Erişim tarihi:24/12/2020
26. **İlgar, R.** 2016. “Hayvan Varlığına Göre Çanakkale Biyogaz Potansiyelinin Tespitine Yönelik Bir Çalışma”, Doğu Coğrafya Dergisi. 35: 89-106. DOI: 10.17295/dcd.08733. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ataunided/issue/24327/257782>
27. **Şenol, H., Elibol, E.A., Açikel, Ü. ve Şenol, M.** 2017. “Biyogaz Üretimi İçin Ankara’nın Başlıca Organik Atık Kaynakları”, BEÜ Fen Bilimleri Dergisi. 6(2), 15-28. <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.339261>
28. **Yağlı, H. ve Koç, Y.** 2019. “Hayvan Gübresinden Biyogaz Üretim Potansiyelinin Belirlenmesi: Adana İli Örnek Hesaplama”, Çukurova Üniversitesi Mühendislik



Mimarlık Fakültesi Dergisi. 34(3), ss. 35-48. <https://doi.org/10.21605/cukurova-ummfd.637603>

29. **Görgülü, S.** 2019. “Burdur İlinin Hayvansal ve Bazı Tarımsal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi”, El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi. Cilt: 6, No: 3, (543-557). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/817755>
30. **Kurnuç Seyhan, A. ve Badem, A.** 2018. “Erzincan İlindeki Hayvansal Atıkların Biyogaz Potansiyelinin Araştırılması”, Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi. 6-1: 25-35. <https://doi.org/10.21541/apjes.334256>
31. **Ay, Ö.F. ve Kaya, A.** 2020. “Kahramanmaraş İlinin Hayvansal Atık Kaynaklı Biyogaz Potansiyeli”, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 10(4): 2822-2830. <https://doi.org/10.21597/jist.660101>



# COVID19 Pandemisinin Havacılık Sektörü Üzerine Etkileri

Berke Hopancı<sup>1</sup>, Hamza Akdeniz<sup>2</sup>, Özlem Şahin<sup>3\*</sup>

## ÖZ

Çin'den bütün dünyaya yayılan COVID19 hastalığı hava taşımacılık sektörünü de diğer alanlarda olduğu gibi derinden sarsmış ve havacılık sektörünü büyük çapta etkilemiştir. Salgının önüne geçmek için ülkeler tarafından sınırları kapatmaya varan geniş tedbirler uygulanmış, bu tedbirlerle birlikte yolcu talebinde ciddi oranda düşüş yaşanmıştır. Salgının en etkili olduğu ve hastalık hakkında henüz çok fazla bilgiye sahip olunmayan Mart-Haziran ayları arasında dünya geneli hava trafiğinde önceki dönemlere göre %90'lara varan düşüş yaşanmış, dünya üzerindeki uçuşlar neredeyse durma noktasına gelmiştir. Bu ciddi düşüş sonrası havacılık sektörünün bütün paydaşları ve havacılık sektöründe çalışan personel olumsuz yönde etkilenmiştir.

Bu çalışmada, COVID19 salgınının Türk havacılık sektöründe hava trafiği, hava yolu şirketleri ve havalimanlarına etkileri irdelenecek, ayrıca uçuşları daha emniyetli hale getirmek üzere alınan önlemlerden bahsedilecek ve havacılık sektörünün toparlanma süreci hakkında ilerideki süreçlerde nasıl bir yol izleneceği hakkında yapılan tahminler incelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** COVID19 pandemisi, havacılık sektörü, hava trafik

## The Effect of COVID19 Pandemic on Aviation Industry

### ABSTRACT

The COVID19 disease, which spread from China to the whole world, has impacted the air transportation industry as well as other sectors. In order to limit the spread of COVID19, wide measures have been implemented by governments, including closing borders. This has caused a significant decrease in the passenger demand. Between March and June, when the pandemic was the most effective, air traffic worldwide experienced a decrease of up to 90% compared to previous periods.

In this study, the impact of the COVID19 outbreak on the aviation industry will be examined in terms of air traffic, airlines and airports. In addition, the measures taken by governments, airports and airlines to make flights safer will be mentioned and the predictions made about the future scenarios about the recovery process will be investigated.

**Keywords:** COVID19 pandemic, aviation industry, air traffic

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 03.02.2021

Kabul/Accepted : 27.02.2021

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bil. Fak. Hava Trafik Kontrol Böl., Eskişehir hopanciberke@gmail.com, ORCID: 0000-0002-8814-8231

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bil. Fak. Hava Trafik Kontrol Böl., Eskişehir hamzaakdeniz@eskisehir.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7701-0520

<sup>3</sup> Doç. Dr., Eskişehir Teknik Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bil. Fak. Hava Trafik Kontrol Böl., Eskişehir ozlemsahin@eskisehir.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9632-5533





## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

There have been a lot of crisis that affected aviation industry in the history and it is known that terrorist attacks, economic crises and global epidemic diseases like SARS affected aviation industry in a bad way. In 2020, a highly contagious disease showed up and it affected the aviation industry like never before. The disease named as COVID19 and the virus that causes COVID19 is named as SARS-CoV-2 (severe acute respiratory syndrome coronavirus 2) by World Health Organization (WHO).

Turkey has been affected by COVID19 just like the rest of the world and tried to prevent this disease to spread quickly. Because of that the government enforced some restrictions. As a result, number of flights and number of passengers were decreased dramatically in March 2020 and because of this decrease the air traffic was almost stopped.

In this study, the COVID19 impact on Turkish aviation based on air traffic, airline companies and airports will be investigated. Also, COVID19 measures taken to ensure flight safety and forecasts about recovery process of aviation industry will be demonstrated.

### Objectives

In this study previous crises that affected aviation industry are mentioned to understand how big the impact of COVID19 crisis. Turkey and Italy have been compared to each other based on arrival and departure traffics. Also, it is aimed to present the COVID19 impact on airline companies and airports. Especially Turkish Airlines as the flag carrier of Turkey, Pegasus Airlines as the biggest low-cost carrier in Turkey, Istanbul Airport as the biggest and the most crowded airport in Turkey and Esenboğa Airport as one of the most important airports in Turkey were chosen as study areas.

In addition, some of the precautions taken by the governments, airline companies and airports have been examined and EUROCONTROL forecasts about the future of aviation industry and recovery process have been mentioned. The main purpose of this study is to reveal the impact of COVID19 on aviation industry.

### Methods

Within the scope of the study, "COVID19 pandemic, aviation industry, air traffic, number of passenger and COVID19 measures" keywords were scanned in English and Turkish. In the literature search on the COVID19 impact on aviation industry is demonstrated by making use of resources such as journals, reports, publications and updated news sites.

While making of this study reports and updated COVID19 statics of EUROCONTROL and reports of General Directorate of State Airports Authority were examined in detail. Also, investor reports of airline companies such as financial reports and investor presentations were examined and evaluated. The statistical values in this study were taken from these resources. Based on the findings on these reports and statical values the COVID19 impact on aviation industry has been tried to be revealed.

### Results

The fact that the SARS-CoV-2 virus started to be effective worldwide and the World Health Organization declared COVID19 disease as a pandemic had a great impact on the aviation industry. The sector has faced a crisis even bigger than the one experienced in the 9/11 attacks. The inability to control the rapidly spreading pandemic brought the aviation industry to a halt.

According to the number of flights statistics in Turkey, the most active airline Turkish Airlines has reduced their number of flights to approximately half. Despite that, in 2019, Turkish Airlines, the fourth airline company with the highest average number of flights in Europe managed to rise to the second place in 2020. Similarly, Pegasus Airlines has earned itself a place among the top ten airlines operating the most flights in Europe.

Airlines lost 1.7 billion passengers and 6.1 million flights in total. European aviation announced a net loss of 56.2 billion Euros during this period. The economic hardship caused 191 thousand direct job losses in Europe. 51 percent of aircraft that belong to European airline companies were grounded by the end of 2020.

The first thing that governments did to prevent spread is closing the borders. Turkey has started to require HES codes from citizens to use public transportation including the airline companies. It has also regulated the mask mandatory in public space. Solutions such as "Travel Bubbles" and "Immunity Passports" have been developed by governments so that people can continue their travels and the aviation industry can breathe a sigh of relief. The factor limiting the functionality of these recommendations is that the SARS-CoV-2 virus mutates quite rapidly and is very difficult to predict. Although the development and introduction of vaccines is promising EUROCONTROL's optimistic forecast is that by 2021, only 51% of the number of flights in 2019 will be reached.



## 1. GİRİŞ

Dünya tarihinde havacılık sektörünü etkileyen birçok olay yaşanmıştır. Terör saldırıları, ekonomik krizler ve küresel çaplı salgınlar örnek olarak verilebileceği gibi bu olayların havacılık sektörünü olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. Bütün bu olumsuz etkilerin ardından havacılık sektörü toparlanma süreçlerine girmiş ancak sektörün hassaslığı defalarca kez ortaya konmuştur.

2020 yılı itibari ile modern dünya daha önce deneyimlemediği ölçekte bir salgın ile yüz yüze gelmiştir. Devletler salgına karşı çeşitli önlemler almış ve vatandaşlarına seyahat kısıtlamaları getirmişlerdir. Bu kısıtlamalar ile azalan hava trafiği uluslararası uçuşların sonlanmasıyla sonuçlanmıştır. Dünya çapında uçuşların durdurulması ise havacılık sektörünü derinden etkilemiş ve binlerce iş kaybına sebep olmuştur.

Havacılık adına yaşanan en büyük krizlerden birisine sebep olan bu hastalığın adı COVID19'dur. COVID19, bulaşıcılığı yüksek bir solunum yolu hastalığıdır ve bu hastalığına sebep olan virüsün resmi adı Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından SARS-CoV-2 (Şiddetli Akut Solunum Sendromu-Koronavirüs-2) olarak belirlenmiştir. Ateş, öksürük, solunum güçlüğü, eklem ağrıları, tat ve koku duyularında kayıp gibi birçok belirtileri bilinmekle beraber her insanda farklı semptomlar görülmektedir. COVID19, hasta bireylerin öksürme ve aksırmaları sırasında havaya saçılan damlacıkların solunması veya hastaların solunum parçacıkları bulaşmış yüzeylere dokunulduktan sonra göz, ağız ve buruna temas edilmesi sonucu bulaşmaktadır [1]. Özellikle uçak kabinleri gibi birçok kişinin bulunduğu kapalı ve dar alanlar bulaş riskinin yüksek olduğu mekanlardır.

İlk olarak Aralık 2019'da tespit edilen COVID19 hastalığı Çin'in Vuhan eyaletinden tüm dünyaya yayılmış ve 11 Mart 2020 tarihinde WHO tarafından bir pandemi olarak ilan edilmiştir. 2020 yılının ilk çeyreğinde hastalığın hızlıca yayılmasının önüne geçemeyen Avrupa hastalığın merkez üssü haline gelmiş ve insan sağlığını önemli ölçüde ve kitlesel bir şekilde tehdit eden bu virüsü engellemek adına birçok tedbir alınmıştır.

Literatürde COVID19 pandemisi üzerine yapılan birçok güncel çalışma bulunmaktadır. Akca [2] yapmış olduğu çalışmada COVID19 salgınının daha önceki yıllarda havacılık sektörünü etkileyen diğer krizlerden çok daha büyük boyutta olduğunu belirtmiş ve kriz yönetimi kavramının önemini vurgulamıştır. Akca'nın çalışmasını destekleyen nitelikteki, Macit ve Macit [3] tarafından yapılmış çalışmada ise COVID19 salgınının havacılık sektöründe yaşanan en büyük kriz olduğu ifade edilmektedir. Pehlivanlı [4] ise çalışmasında, Covid-19'un Türkiye havacılık sektörüne olası etkilerinin belirlenmesi amacıyla özellikle havalimanlarını dikkate alarak, havalimanlarının COVID19 öncesi ve COVID19 başlangıç sürecindeki performansları karşılaştırılmıştır. COVID19 başlangıç döneminde havalimanlarının ortalama verimliliğinin düştüğü sonucunu elde etmiştir. Çoşkun ve Şener [5] çalışmalarında, pandemi sürecinde sosyal



medya ile pazarlamanın önemine odaklanmış ve ekonomik olarak en fazla zarar gören sektörün havacılık sektörü olduğunu, en az zarar gören ya da COVID19 pandemisinden hiçbir şekilde etkilenmeyen ve ekonomik olarak karlılığını arttıran sektörün ise gıda perakendeciliği sektörü olduğuna dikkat çekmiştir. Havayolu şirketlerinin sosyal medya platformlarının önemine odaklanan çalışmalarında Dondurucu ve Çetinkaya [6], Türk Hava Yolları ile Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere'nin ulusal hava yolu şirketlerinin Instagram kullanım stratejilerini karşılaştırmıştır. Koç'un [7] yaptığı çalışmada ise, pandemi sürecinde Türk Hava Yolları'nın kriz yönetim stratejileri incelenmiş ve Türk Hava Yolları'nın COVID19 sürecinde başarılı bir kriz yönetme stratejisi izlediği saptanmıştır [7]. COVID19 pandemisinin havacılık sektörüne etkilerinin yanı sıra, turizme olan etkileri [8-12] Borsa İstanbul üzerine etkileri [13,14] altın ve ons üzerine etkileri [15] gibi birçok alan ve sayıda çalışmada bulunmaktadır.

Bu çalışmada ise, COVID19 pandemisinin havacılık sektörü üzerine etkilerine odaklanılarak, sonuçlar hava trafik sayıları ve havacılık sektörünün paydaşları olan havayolu ve terminal işletmeleri açısından değerlendirilecek ayrıca pandemi sürecinde alınan tedbirler incelenecektir.

## 2. COVID19'UN HAVACILIK SEKTÖRÜNE ETKİSİ

Sivil havacılık sektörü kültürel faydalarının yanı sıra küresel ekonomiyi destekleyen önemli ulaşım sistemlerinden biridir. Yirminci yüzyılın başlarında uçakların askeri amaçlarla kullanılmaya başlanması ile havacılık sektörünün temelleri atılmaya başlanmıştır ancak sektör, teknolojik yetersizlikler ve talebin azlığı nedeniyle hızlı bir gelişim süreci yaşayamamıştır. Bu nedenle dönemin küresel krizlerinden olan influenza pandemisi ve Büyük Buhran havacılık sektörünü büyük çapta etkilememiştir. İkinci dünya savaşı sırasında önemi anlaşılan hava taşımacılığı, o tarihten günümüze kadar sürekli gelişmiştir. Ancak tarih boyunca sektörün gelişmesinin durmasına veya gerilemesine sebep olan olaylar da yaşanmıştır. 1973 yılındaki Petrol Krizi, Körfez Savaşı ve Asya Ekonomik Krizi bunlara örnek olarak verilebilir. Havacılık sektörünün odak noktası olduğu 11 Eylül saldırıları yakın geçmişte yaşanmış ve havacılık sektörü üzerinde doğrudan etkisi olan küresel krizlerden birisidir.

11 Eylül 2001 tarihinde Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan Dünya Ticaret Merkezi'ne düzenlenen terörist saldırısının ardından Amerikan hava sahası geçici olarak tüm uçuşlara kapatılmıştır. Bu korkutucu olayın ardından birçok yolcu ya uçuş sayısını azaltmış ya da hava taşımacılığında tamamen kaçınmıştır. Bunun sonucunda 200 bin uçuş kaybı yaşanmış ve hava trafik yoğunluğunun 2001 yılından önceki haline dönmesi için 1,5 yıl geçmesi gerekmiştir [16,17].

21. yüzyılın bulaşıcılığı yüksek ilk hastalığı olan SARS virüsü 2003 yılında Çin'de ortaya çıkmıştır ve güney doğu Asya'da etkili olmuştur. Toplamda sekiz aylık süreçte

etkili olan virüs dünya genelinde yaklaşık olarak 8100 kişiye bulaşmıştır. Hastalığa yakalanan 774 kişi ise hayatını kaybetmiştir [18]. Bu durum Asya Pasifik seferleri düzenleyen hava yolu şirketlerinin yıllık bazda uçuşlarının %4'ünü kaybetmesiyle sonuçlanmıştır [19].

2008 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nin emlak piyasasının çökmesiyle ortaya çıkan ekonomik belirsizlik önce Avrupa'yı etkisi altına almış daha sonra ise tüm dünyaya yayılarak küresel bir ekonomik krize dönüşmüştür. Büyük Buhran'dan sonra en etkili kriz sayılan Dünya Ekonomik Krizi birçok sektör gibi hava taşımacılık sektöründe de sekteye uğratmıştır. Yaklaşık olarak 600 bin uçuş kaybı yaşanmış ve sektör ekonomik krizden önceki uçuş sayılarına 8 yılda ulaşabilmiştir [17,20].

2020 yılının ilk aylarında hava taşımacılık sektörüne önemli bir tehdit olarak ortaya çıkan SARS-CoV-2 virüsü takip eden aylarda tehdit olmaktan çıkmış ve sektörü tafisi güç bir krize sürüklemiştir. Devletlerin kısıtlama ve yasaklarının ardından hava ulaşımına talep azalmıştır.

Bunun sonucunda 2019 yılında dünya genelinde düzenlenen toplam uçuş sayısı (yolcu+kargo) 42,1 milyon iken 2020'de 27,6 milyona gerilemiştir. Uçuş sayısındaki azalma %34,4 oranındadır. Mart-Nisan aylarında salgının merkez üssü haline gelen Avrupa'da ise oran %52,4'tür. 2020 yılında yaklaşık 8,4 milyon uçuş düzenlenen Avrupa'da uçuşlarının yarısından çoğu kaybedilmiş ve ancak 4 milyon uçuş düzenlenebilmiştir [21]. Şekil 1'de de görüldüğü gibi COVID19'un hava taşımacılık sektörünü daha önce karşılaşmadığı büyüklükte bir krizle yüzleşmek zorunda bıraktığı aşikardır.



Şekil 1. 1914-2020 Yılları Arası Ticari Hava Trafiği Yolcu Sayısı ve Olaylar [22]

## 2.1 Türk Hava Sahasına Etkisi

Türkiye Cumhuriyeti, 11 Mart 2020 tarihinde ilk vakanın görülmesinin ardından ve



COVID19 hastalığının zaman içerisinde ciddi boyutlara ulaşmasından sonra birtakım önlemler olarak hastalığın ülke içerisinde çok daha hızlı bir şekilde yayılmasının önüne geçmeye çalışmıştır. Bu önlemlerden havacılık sektörünü en çok etkileyeni diğer devletlerin de yaptığı gibi sınırları kapatarak uçuşları durdurmak olmuştur. İnsanların da bu süreçte bulaş riskinin yüksek olduğu dar uçak kabinleri gibi yerlere girmek istememesi de yolcu taleplerinin ve dolayısıyla uçuş sayılarının azalmasına neden olmuştur.

### 2.1.1 Türkiye Hava Trafikğine Etkileri

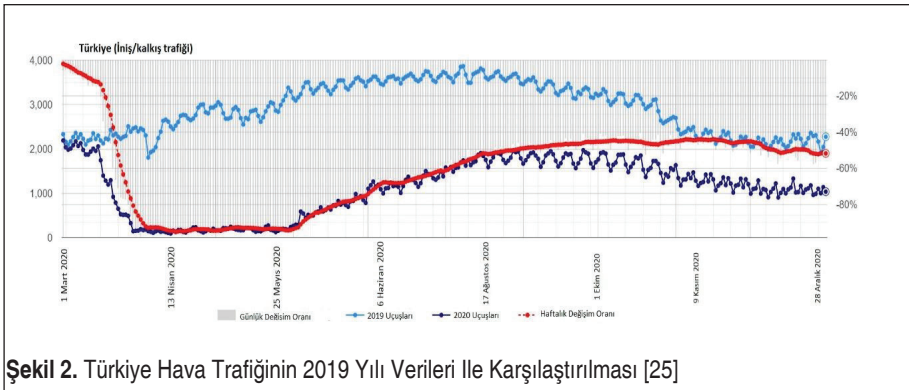
2020 yılının Mart ayında başlayan kısıtlamalarla birlikte ülkemiz hava trafik sayısında ciddi boyutlarda azalma yaşanmıştır. Bu nedenle havacılık sektörü adeta durma noktasına gelmiştir. Hava trafik sayılarında bu azalma son 5 yıl için Tablo 1'de görülmektedir.

Yolcu sayısında yaşanan düşüş doğal olarak uçuşlara da yansımıştır. Türkiye hava sa-

**Tablo 1.** 2015-2020 Yılları Arası Türkiye İçin Hava Trafik Sayıları [23]

YIL	İÇ HAT	DIŞ HAT	TOPLAM
2015	832.958	623.715	1.456.673
2016	886.228	566.767	1.452.995
2017	909.332	591.125	1.500.457
2018	892.405	651.764	1.544.169
2019	839.894	716.523	1.556.417
2020	575.262	280.571	855.833

\*Verilere transit uçuşlar dahil değildir.





**Tablo 2.** Bazı EUROCONTROL Üye Ülkeleri 2019 Yılına Göre 2020 Yılında Yaşanan Uçuş Kaybı Sayıları ve Oranları [26]

ÜLKELER	UÇUŞ KAYBI (BİN)	UÇUŞ KAYBI ORANI
NORVEÇ	205	%40
ARNAVUTLUK	13	%46
LÜKSEMBURG	36	%47
BELÇİKA	174	%51
BULGARİSTAN	48	%52
HOLLANDA	317	%52
LİTVANYA	33	%52
TÜRKİYE	553	%54
FRANSA	853	%54
SİRBİSTAN&KARADAĞ	52	%54

\*Bu tablodaki veriler uçuş kaybı oranlarına göre azdan çoğa doğru olacak şekilde sıralı bir biçimde verilmiştir.

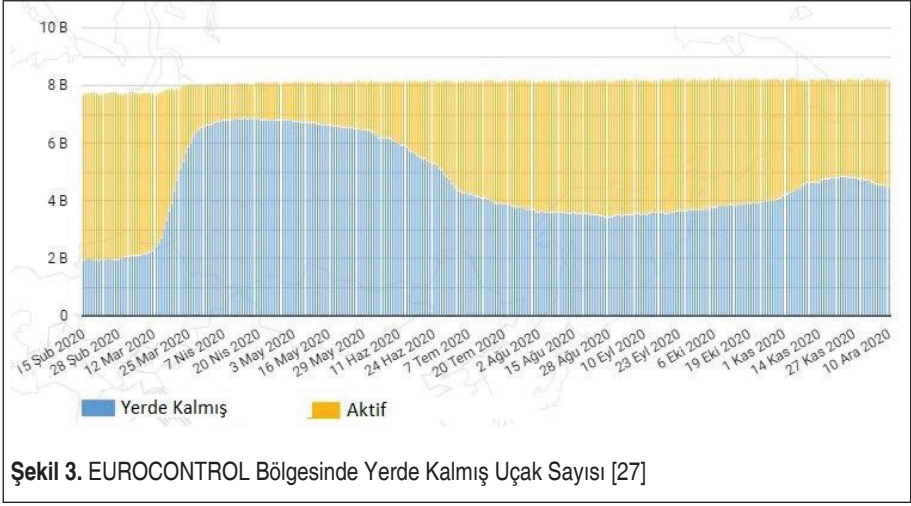
hasında Nisan-Mayıs aylarında 2019 yılı trafik sayılarına göre %90 oranında bir düşüş görülmüş, Nisan ayı ortalarında ise bu oran %95'e ulaşmıştır [24].

1 Haziran 2020 tarihinde Türkiye'de atılan normalleşme adımlarından sonra hava sahası hareketlerinde iyileşmeler izlenmiş fakat hava trafiği hala önemli ölçüde toparlanmamıştır (Şekil 2). Yine de Avrupa genelindeki düşüşe nazaran Türkiye istikrarlı bir grafik çizmiş, yaz döneminden sonra trafik kaybını stabil tutmayı başarmıştır.

2020 yılının sonunda, Türkiye'nin hava trafik sayısında 2019 yılına göre %54 oranında azalma gerçekleşmiştir. Türkiye'nin, EUROCONTROL üye ülkeleri ile trafik kayıp oranları açısından karşılaştırılması Tablo 2'de verilmiştir [26].

## 2.2 Havayolu İşletmelerine Etkisi

Havayolu işletmeleri, temelde kâr amacı güderek hava taşıma araçları ile yolcu, yük ve posta taşımak için hizmet üretip, bu hizmetleri pazarlayıp satan işletmelerdir. Pandeminin getirdiği zor koşullar ve havacılık sektörüne olan talebin düşmesi ile havayolu işletmeleri bu koşullardan direkt bir şekilde etkilenmişlerdir. Azalan uçuşlar nedeniyle dünya genelinde birçok havayolu işletmesi bünyesindeki uçakları uçuramamış ve yerde tutmuştur. Sadece Avrupa'da Nisan ve Mayıs aylarında 6000'den fazla uçak yerde kalmıştır [27]. Bu durum havayolu işletmelerine büyük bir ekonomik darbe olarak geri yansımış, özellikle personel giderleri ve ekonomik dengeler konusunda sıkıntıya düşmelerine sebebiyet vermiştir.



Şekil 3’de görüleceği üzere pandeminin havacılık sektörü üzerinde en çok baskılı olduğu Mart-Haziran ayları arasında yerde kalan uçak sayısı tavan yapmış, normalleşmelerin başlaması ile yeniden uçuş yapabilir konuma geçen havayolu işletmeleri uçaklarının bir kısmını tekrardan faal duruma getirmişlerdir. Buna rağmen aktif ve yerde kalmış hava araçlarının oranı neredeyse yarı yarıya gitmekte olduğu görülebilir.

Yerde kalmış hava araçları işletilemeden ve üzerinden gelir sağlanamadan beklemedikleri için havayolu işletmelerine sadece masraf olarak yansımaktadırlar. Bunun da her türlü yönden ekonomik sıkıntılar çeken havayolu işletmelerine ekstra bir yük getirdiği de söylenebilir.

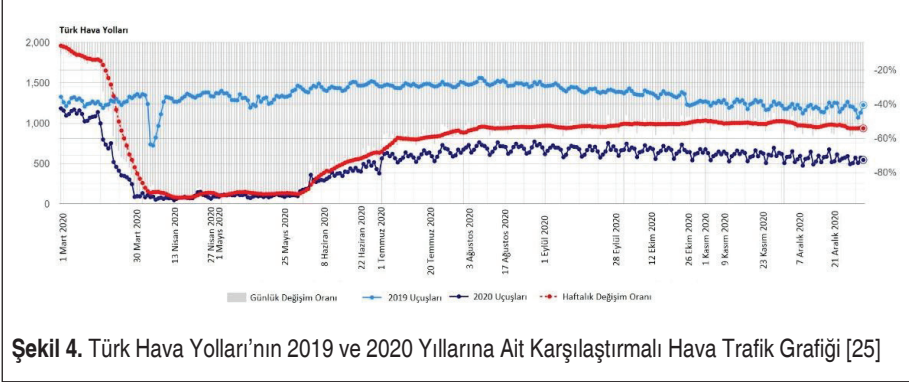
İzleyen bölümde, Türkiye’nin önde gelen iki havayolu işletmesi olup, filo bakımından geniş imkanlara sahip olan Türk Hava Yolları ve Pegasus Hava Yolları’nın küresel salgından nasıl etkilendikleri incelenmiştir.

### 2.2.1 COVID19’un Türk Hava Yolları’na Etkisi

2019 yılının ikinci çeyreğinde ülkelerin tedbir amaçlı sınırlarını kapatmasının ardından hava yolları tahliye uçuşları hariç tüm uçuşlarını durdurma kararı almıştır. Ulusal bayrak taşıyıcımız olan Türk Hava Yolları ise bu süreçte 59 ülkeden tahliye uçuşu gerçekleştirmiştir. Türkiye’de salgının kontrol altına alınmasıyla birlikte iç hat uçuşları 1 Haziran tarihinde tekrar başlamıştır. 1 Temmuz – 30 Eylül tarihleri arasında ise Türk Hava Yolları 7 milyon yolcu taşımış ve EUROCONTROL verilerine göre Avrupa’da en çok sefer düzenleyen ikinci hava yolu şirketi olmuştur.

Yolcu taşımacılığında yaşanan bu gerileme ve milletler arası tıbbi malzeme gönderme ihtiyacı hava yolu şirketlerini kargo ve yük taşımacılığına yönlendirmiştir. Kargo pa-





Şekil 4. Türk Hava Yolları'nın 2019 ve 2020 yıllarına ait karşılaştırmalı hava trafik grafiği [25]

zarında büyümeye devam eden Türk Hava Yolları kargo gelirlerini 2020 yılının ilk 9 ayında geçen yıla göre %55 arttırmıştır.

Şekil 4'de görüleceği gibi, Türk Hava Yolları diğer birçok havayolu şirketi ile aynı kaderi paylaşmış ve Mayıs ayının ortasından Nisan ayının başına kadar geçen sürede uçuşlarında keskin bir azalma gözlemlenmiştir. Nisan-Mayıs aylarında seyahat kısıtlamaları nedeniyle iptal edilen tarifeli seferler azalan yıllık trafik sayısını %90 oranına ulaştırmıştır. Haziran ayından itibaren trafik sayısında artışlar görülmüştür. Türk Hava Yolları, Eylül ayından itibaren uçuşlardaki azalma oranını %50 bandında tutabilmeyi başarmıştır.

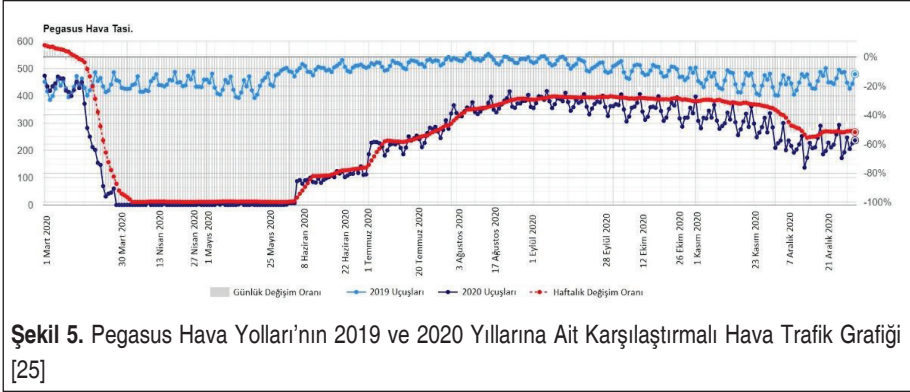
Türk Hava yollarının 138 uçakla EUROCONTROL bölgesinde en çok yerde kalan uçağa sahip üçüncü havayolu şirketi olmasına karşın en çok aktif uçağı bulunan ikinci havayolu şirketi olmuştur [27]. EUROCONTROL'un 2020 yılı istatistik verilerinde; Türk Hava Yolları'nın, günlük uçuş sayısı bakımından Ryanair ve Air France havayolu şirketleriyle birlikte genellikle ilk 5 sırada yer aldığı görülmektedir [25].

### 2.2.2 COVID19'un Pegasus Hava Yolları'na Etkileri

Ülkemizin önde gelen düşük maliyetli (low-cost) havayolu işletmelerinden biri olan Pegasus, yıllardır faaliyetlerini iç ve dış hatlarda olmak üzere sürdürmektedir. COVID19 pandemisiyle birlikte her işletmede olduğu gibi uçuş ve yolcu sayısı düşen Pegasus Hava Yolları'nın bu salgından ne şekilde etkilendiği bu bölümde incelenecektir.

Seyahat kısıtlamaları gereği 2020 yılı Nisan ve Mayıs aylarında tarifeli uçuş yapmayan Pegasus, normalleşme adımlarının atılması ile 1 Haziran 2020 tarihinde iç hat uçuşlarına, 13 Haziran 2020 tarihinde ise dış hat uçuşlarına başlamıştır [28]. Şekil 5'de görüleceği üzere kademeli olarak trafik sayılarında iyileşme gerçekleşen Pegasus diğer havayolu şirketlerine göre büyük bir toparlanma göstererek Eylül ayında 2019 yılının aynı dönemine göre trafik sayılarındaki azalma oranı %28 civarlarında gerçekleşmiştir [25]. Ocak-Kasım 2020 tarihleri arasında charter uçuşlar dahil olmak





**Şekil 5.** Pegasus Hava Yolları'nın 2019 ve 2020 Yıllarına Ait Karşılaştırmalı Hava Trafik Grafiği [25]

üzere iç ve dış hatlar toplam 92 bin 340 uçuş yapılmıştır. Bu sayı 2019 yılının aynı dönemine göre %46 daha azdır [29].

Yolcuların durumuna bakıldığında ise 2020 yılının üçüncü çeyreğinde iç hatlarda %81 doluluk oranı ile 3.11 milyon, dış hatlarda ise %66 doluluk oranı ile 1.16 milyon yolcu taşınmıştır [30]. Ocak-Kasım 2020 tarihleri arasında ise toplam yolcu sayısı 13,76 milyon olarak gerçekleşmiş ve 2019 yılının aynı dönemine göre %51 azalmıştır [29].

**Tablo 3.** Pegasus ve Ryanair hava yolu şirketleri Ocak-Kasım 2020 tarihleri Arası Yolcu Sayısı Verileri ve 2019 Yılına Göre Değişim Oranı [29,31].

	PEGASUS (mn)	RYANAIR (mn)
OCAK	2,57 (+%9,4)	10,8 (+%5)
ŞUBAT	2,33 (+%8,9)	10,5 (+%9)
MART	1,34 (-%9,5)	5,7 (-%48)
HAZİRAN	0,36 (-%53,9)	0,4 (-%97)
TEMMUZ	2,95 (-%56)	4,4 (-%70)
AĞUSTOS	3,03 (-%54)	7 (-%53)
EYLÜL	1,57 (-%53)	5,1 (-%64)
EKİM	1,59 (-%52)	4,1 (-%70)
KASIM	1,30 (-%51)	2 (-%82)

\* Yukarıdaki tabloda kısıtlamalardan dolayı uçuş yapılmadığı için Nisan-Mayıs aylarına ilişkin ve çalışmanın yapıldığı sırada Pegasus Hava Yolları tarafından yayınlanmış kesin veriler bulunmadığından Aralık ayına ilişkin yolcu sayıları tabloya dahil edilmemiştir.

\*\* Veriler iç ve dış hat toplam yolcu sayısı olarak verilmiştir.

\*\*\* Verilere charter uçuşlar dahildir.



Bu veriler Avrupa’da faaliyet gösteren bir başka düşük maliyetli havayolu şirketi olan Ryanair ile karşılaştırılırsa, taşınan yolcu sayısı bakımından Ryanair önde gelse de 2019 yılına kıyasla kaybedilen yolcu oranı bakımından Pegasus’un daha az oranda yolcu kaybı yaşadığı Tablo 3’de görülmektedir. Doluluk oranları için yapılan istatistiklerde; Ryanair, %70-%75; Pegasus ise %80 oranını yakalamıştır. [29,31]

Pandemi sürecinde kan kaybeden hava yolu şirketleri nakit pozisyonlarını korumak amaçlı bazı önlemler almış, ekonomik dengelerini sağlamaya çalışmışlardır. Bu kapsamda Pegasus, Türkiye Cumhuriyeti’nin sağladığı kısa çalışma ödeneğinden faydalanarak personel maliyetlerini optimize etmek, personelin uzaktan çalışma sistemine geçirilmesi ile sabit maliyetlerde tasarrufa yönelmek, gider kalemlerindeki harcama bütçelerini indirgemek, kritik olmayan yatırım ve projeleri ertelemek, uçak bakım takvimini mevcut kullanım planlarına göre düzenlemek gibi birtakım önlemler almıştır [28]. Kısa çalışma ödeneğinden faydalanılarak yürütülen ücretsiz izin politikası Pegasus’a personel giderlerinde %63’lük bir düşüş olarak yansımıştır [30].

### 2.3 Havalimanlarına Etkisi

Havalimanları hava araçlarının kalkması ve inmesi için özel olarak hazırlanmış, hava araçlarının bakım ve diğer ihtiyaçlarının karşılanmasına, yolcu ve yük alınmasına ve verilmesine ilişkin tesisleri bünyesinde bulunduran yerlerdir. Ülkemizde havalimanları hem devlet eliyle Devlet Hava Meydanları İşletmesi tarafından hem de özel şirketler tarafından işletilmektedir. Havalimanları yük ve yolcu taşımacılığına aracı olarak ve hava yolu şirketlerine ev sahipliği yaparak şehirlerin, coğrafi bölgelerin ve ülkelerin ekonomik gelişimlerinde önemli bir rol oynar. Havalimanı işleticileri havacılık gelirleri (havayolu şirketlerinden tahsil edilen ücretler, yer hizmetleri ücretleri vb) ve havacılık dışı gelirler (gayrimenkul kira gelirleri, otopark gelirleri vb.) olmak üzere iki tip ekonomik kaynakla beslenmektedir. Bu çalışmanın önceki bölümlerinde belirtilen bütün olumsuz etkiler havacılık sektörünün bir yapıtaşı olan havalimanlarını da doğal olarak etkilemiştir, bu etki sonucu yolcu sayılarındaki değişim tablo 4’de görülebilir. 2020 yılının ikinci çeyreğinde havalimanlarının toplam gelirleri dünya genelinde %90 azalmıştır ve bu oran yaklaşık 39 milyar dolara tekabül etmektedir [32]. Bunlara bağlı olarak pandemi sürecinde iflas etme riski bulunan hava yolu işletmelerine servis veren ve ev sahipliği yapan havalimanları ekonomik olarak uzun dönemli bir sıkıntıya girebileceği belirtiliyor [33]. ACI Europe Avrupa’da bulunan 193 havalimanının iflas riskiyle karşı karşıya olduğu ve yaklaşık 277 bin kişiye istihdam sağlayan risk altındaki bu havalimanlarının Avrupa GSYH’sının 12,4 Milyar Euro değerinde bir bölümünü karşıladığını belirtiyor [34].

Pandemi döneminde havalimanları sadece sıkıntıya girmekle kalmamış bazı havalimanları yerde kalan uçaklara yer sağlayabilmek için taksi yolları ve pistlerini kapatmak zorunda kalmış bazı havalimanları ise geçici süreyle servis dışı kalmıştır.

**Tablo 4.** Avrupa'da Aylara Göre Yolcu Sayıları ve 2019 Yılı ile Karşılaştırılması [37]

	2020 Yolcu Sayısı (mn)	2019 Yolcu Sayısı (mn)	Değişim Miktarı (mn)	Değişim Oranı
OCAK	158	155	3,4	%2
ŞUBAT	151	150	1,4	%1
MART	73	179	-107	-%59
1.ÇEYREK	382	484	-102	-%21
NİSAN	2,8	201	-198	-%99
MAYIS	4,3	217	-213	-%98
HAZİRAN	17	240	-233	-%93
2.ÇEYREK	24	657	-633	-%96
TEMMUZ	57	260	-203	-%78
AĞUSTOS	81	262	-181	-%73
1-27 EYLÜL	57	212	-155	-%73
<b>TOPLAM</b>	<b>601</b>	<b>1874</b>	<b>-1273</b>	<b>-%68</b>

Pandemi öncesinde önemli bir konumda olan Atlanta Hartsfield-Jackson Uluslararası Havalimanı ve Frankfurt Havalimanı yerde kalan uçaklara park yeri sağlayabilmek amacıyla taksi yolu ve pistlerini kapatmış, Paris-Orly Havalimanı ise trafiğin düşük olması nedeniyle geçici süreyle kapatılmıştır [35,36].

Türkiye'de COVID19 pandemisinin, yüksek hava trafik sayısına sahip havalimanları için etkileri Tablo 5'de verilmiştir. Uluslararası trafiğe açık olan bu havalimanlarının yaklaşık %50-55 oranında trafik kaybı yaşadığı söylenebilir. Daha küçük ölçekli ulusal havalimanlarının, yurtdışı uçuşlarının olmaması ya da uçuş sayısının az olması

**Tablo 5.** Havalimanları İç ve Dış Hat Toplam Uçak Trafik Sayıları ve Değişim Oranları [23]

	2019	2020	DEĞİŞİM ORANI
İstanbul Havalimanı	329.900	185.642	-%44
Sabiha Gökçen Havalimanı	235.717	126.337	-%46
Adnan Menderes Havalimanı	83.585	45.997	-%45
Antalya Havalimanı	212.518	71.201	-%66
Muğla Dalaman Havalimanı	42.713	23.896	-%44



nedeniyle, büyük havalimanları kadar büyük çapta etkilenmedikleri söylenebilir.

Türkiye'nin en büyük havalimanı olan İstanbul Havalimanı tam olarak faaliyet göstermeye 7 Nisan 2019 tarihinde İstanbul Atatürk Havalimanı'nın kapatılarak trafiklerin buraya taşınmasıyla başlamış ve COVID-19 öncesi Mart 2020 tarihine kadar yoğun bir şekilde çalışarak günde binlerce trafiğe ve misafire hizmet vermiştir. Hava taşımacılığına verdiği hizmet kadar terminal içerisindeki sosyal imkanları ile de misafirlerine pek çok imkân sağlamıştır.

Mart ayı itibari ile pandemi hava taşımacılığı üzerinde etkisini göstermeye başlamış ve İstanbul havalimanındaki uçak trafiği düşüş göstermiştir. Nisan-mayıs aylarında tarifeli seferler gerçekleştirilememiş, sadece tıbbi yardım uçuşları ve yabancı ülkelere dönmeyen vatandaşlar için kurtarma uçuşları gerçekleştirilebilmiştir. Bu süreçte günlük ortalama 47 uçuş düzenlenmiştir. Haziran ayının başına kadar uçuşlardaki azalma oranı bir önceki seneye göre %90 bandının altına inmemiştir. Yaz aylarının gelmesi ile birlikte havalimanlarındaki pandemi tedbirlerinin artırılması hava taşımacılığına duyulan güveni görece arttırmıştır. Temmuz ayı itibari ile havacılık sektörü kendini toparlamaya başlamıştır. Yıl sonuna kadar İstanbul Havalimanında düzenlenen uçuş sayılarında istikrar sağlanmış ve günlük 400 ile 600 uçuşa hizmet verilmiştir [25].

Mart ayında başlayan pandemiden etkilenmekten kurtulamayan Ankara Esenboğa Havalimanı ise, diğer bütün havacılık sektörüne ilişkin grafiklere paralel bir uçuş ve yolcu kaybı yaşamıştır. 2020 yılı kesin olmayan verilerine göre iç ve dış hatlar toplamı 5 milyon 56 bin 451 yolcu misafir eden Esenboğa Havalimanında 2019 yılına göre %63 oranında yolcu kaybı söz konusudur [23]. Tablo 6'da Esenboğa Havalimanının 2020 yıl sonuna ait kesin olmayan iç ve dış hat seferlerine ait trafik sayısı ve 2019 yılına göre değişim oranı verilmiştir.

**Tablo 6.** Esenboğa Havalimanı 2020 Yılı Kesin Olmayan Trafik Sayıları [23]

İÇ HAT	DIŞ HAT	TOPLAM	2019'a Göre Değişim Oranı
41.414	8.961	50.375	-%49

Esenboğa Havalimanı terminal işleticisi TAV Havalimanları raporuna göre [38] 2019 yılı ilk 6 ayında çalışan sayısı 976 iken 2020 yılının ilk 6 ayında 925 olarak görülmektedir. Buna göre Esenboğa Havalimanı'nda TAV Havalimanlarına bağlı olarak çalışan personel sayısının pandemi veya diğer sebepler sonucu azaldığı söylenebilir. TAV Havalimanları aynı raporda 2020 yılı ilk 9 ayında Esenboğa Havalimanından 17,4 milyon euro gelir sağladığını belirtmiş ve bu oranın 2019 yılı aynı dönemine göre %46 oranında azaldığını göstermiştir.



### 3. ALINAN TEDBİRLER

COVID19 hastalığının bütün dünyaya yayılmasının ardından ülkeler, havalimanları ve hava yolu şirketleri salgını kontrol altında tutabilmek ve önüne geçebilmek adına bazı önlemler almışlardır. Bu bölümde salgına karşı alınan çeşitli önlemler incelenecektir.

Türkiye adına alınan önlemlerde ilk olarak Ocak 2020 tarihinde havalimanlarında Çin, ABD ve Rusya gibi ülkelerden gelen yolcuların ateşleri ölçülerek ve termal kamera ile izlenerek virüs taşıyıcısı olma belirtileri gösteren yolcular tespit edilmeye çalışılmış ve şüpheli vakalardan örnekler alınmıştır [39]. Sonrasında Türk Hava Yolları 31 Ocak 2020 tarihinde Çin'in Pekin, Guangzhou, Şangay ve Xian şehirlerine düzenlediği uçuşları 9 Şubat 2020 tarihine kadar durduğunu açıklamıştır [40]. Bu kararın üzerinden çok geçmeden, 3 Şubat 2020 tarihinde ise Çin'e yapılan tüm uçuşların durdurulduğu açıklanmıştır. Salgının İran'da hızlı bir şekilde yayılmasının ardından 23 Şubat 2020 tarihinde İran ve Nahçıvan sınırları kapatılmış [41], 29 Şubat 2020'de ise İran, İtalya ve Güney Kore'ye uçuşlar durdurulmuştur [42].

Mart ayı içerisinde Türkiye'de ilk COVID19 vakasının görülmesinin ardından yapılan görüşmelerde kamu görevlilerin yurt dışına çıkışının izne tabi olması ve yurt dışı seyahatlerinin ertelenmesi tavsiyesi gibi kararlar alınmıştır. Yine Mart ayı içerisinde alınan diğer kararlar bakılacak olursa Türk Hava Yolları ve Pegasus şirketleri yaptıkları açıklamalarla İspanya, Almanya, Fransa, Belçika, Hollanda, İsveç, Norveç, Avusturya ve Danimarka'ya uçuş kısıtlamaları getirdiklerini duyurmuşlardır [43]. Ardından ise Sağlık Bakanlığı daha önce uçuş kısıtlaması uygulanan ülkelere Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri, İsviçre, Mısır, İngiltere ve İrlanda'nın da eklendiğini açıklamıştır [44].

Nisan ayı içerisinde salgının iyice şiddetlenmesi üzerine daha kapsamlı ve sert önlemler alınmış, seyahat kısıtlamaları ve sokağa çıkma yasakları uygulanmıştır. Mayıs ayında ise bu sert yasaklar zaman zaman devam etmiş fakat genel olarak gevşetilmiştir ve uçuşlarda COVID19 hastalığı bakımından risk taşıyıp taşımadığını belirten HES kodu zorunluluğu devreye girmiştir. 1 Haziran itibarı ile ise normalleşme süreci Türkiye adına başlamış ve bununla birlikte maske takma zorunlulukları getirilmiştir [42].

Aralık 2020 tarihinde yaşanan bir gelişme ile İngiltere'de SARS-CoV-2 virüsünün çok daha hızlı yayılan mutasyonlu bir varyasyonuna rastlandığı açıklanmış ve tüm dünya genelinde tedirginlik yaratmıştır. Bu mutasyonlu virüsün birkaç ülkede daha görülmesinin ardından birçok devlet yeniden uçuş kısıtlamaları getirmiş ve Sağlık Bakanlığı da bir açıklama yaparak Güney Afrika, Hollanda, Danimarka ve İngiltere ile yapılan uçuşların tedbir amaçlı durdurulduğunu açıklamıştır [45]. Yıl sonunda ise yurt



dışından gelen tüm kişilere Türkiye'ye girerken son 72 saat içerisinde alınmış negatif PCR test sonucu ibrazı zorunluluğu getirilmiş ve tüm sınır kapılarında uygulanmaya başlanmıştır. Negatif PCR testi olmayan hiçbir yolcu uçuşlara alınmamıştır [46].

Şüphesiz ki tüm bu önlemler direkt olarak hava taşımacılık sektörünü derinden etkilemiş, çalışmanın önceki bölümlerinde de incelendiği üzere özellikle Mart-Haziran ayları arasında havacılık sektörünü durma noktasına getirmiştir. Buna rağmen alınan önlemlerin toplum sağlığı açısından çok önemli rol oynadığı yadsınamaz bir gerçektir.

Sınırların kapatılmasının ardından havacılık ve turizm sektörlerine nefes aldirmek isteyen bazı ülkeler yolcuların uçuştan sonra 14 günlük karantinaya girmesi şartıyla seyahat yasaklarını gevşettiklerini bildirmişlerdir. Ancak uygulaması ve takibi oldukça zor olan bu çözüm yolcuları da seyahat etmeye teşvik etmekte yeterli olmamıştır. Bunun üzerine yeterli pandemi tedbirleri aldığını düşünen ülkeler yaptıkları ikili anlaşmalar ile vatandaşlarının COVID19 testlerinin negatif olması halinde karantina kurallarına dahil edilmeden ülkelere giriş çıkış yapabileceklerini açıklamışlardır. Travel Bubble adı verilen bu sistemi dünya üzerinde uygulamayı başaran ilk iki devlet Singapur ve Hong Kong olmuştur. Bu uygulama normalleşme sürecinin başlangıcı kabul edilmiş ve farklı ülkeler tarafından da kullanılmıştır [47].

İnsanların çalışmaya ve seyahat edebilmeye başlayabilmesi için ortaya atılan bir başka çözüm önerisi ise "Immunity Passports" olmuştur. Daha önceki salgınlarda da kullanılmaya çalışılan bu sistem hastalığa bağışıklık kazanmış kişilerin belgelendirilmesinin ardından kısıtlamalara takılmadan sosyal hayatını sürdürebileceğini ileri sürer. Dünya Sağlık Örgütü yaptığı açıklamada bu uygulamanın aktif olarak kullanılması için henüz yeterli bilgiye sahip olunmadığından bahsetmiştir. Buna karşın kimi ülkeler virüse yakalanan ve iyileşen vatandaşlarını maske takma zorunluluğundan ve seyahat yasaklarından muaf tutacağını açıklamıştır. Geçmişte yaşanan bazı olaylar nedeniyle etik açıdan da değerlendirilmesi gerektiği düşünülen bağışıklık pasaportu sistemi aşuların piyasaya sürülmesiyle tekrardan gündeme gelmiş ve birçok ülke tarafından kullanılmaya başlanmıştır [48,49].

Piyasadaki aşular ve COVID19 testleri çeşitlendikçe devletlerin yolculardan talep ettiği gereklilikler takip etmesi güç bir hal almıştır. Uluslararası Hava Taşımacılığı Birliği (IATA) bu karışıklığın önüne geçmek ve yolcuların seyahat deneyimlerini kolaylaştırmak için dijital bir pasaport gibi kullanılabilecek IATA Travel Pass'i geliştirdiğini açıklamıştır. Mart 2021 tarihinde yayınlanması planlanan bu mobil uygulama ile kullanıcının bireysel test sonuçları hakkında bilgiye, aşı kanıtına ve pasaportunun elektronik kopyasına erişim sağlanabilecektir. Aynı zamanda yolcular da her devletin talep ettiği belgeleri uygulama aracılığı ile görebileceklerdir. Bu sayede insanların üzerindeki kısıtlama yükü azalacak ve havacılık sektörünün toparlanma süreci hızlanacaktır [50].



SHGM tarafından 24 Mart 2020 tarihinde 2020-01 Emniyet Bülten Numaralı Uçuş Operasyon Emniyet Bülteni yayınlanmıştır. Yurt içi ve yurt dışı kaynaklı birçok resmi yayını referans alan ve yer hizmetleri, terminal işletmeleri, hava taşıma işletmeleri kuruluşları, temsil gözetim ve yönetim kuruluşlarını kapsamina alan bu bültende COVID19 salgınına karşın alınabilecek tedbirler ve uygulanabilecek çalışmalar konularında tavsiyeler verilmiştir.

Bunların devamında bazı hava yolu işletmeleri ve havalimanları Avrupa Birliği Havacılık Emniyeti Ajansı (EASA) ile Avrupa Hastalık Önleme ve Kontrol Merkezi (ECDC) tarafından ortak bir şekilde hazırlanan COVID-19 Havacılık Sağlık Emniyeti Protokolü'nü imzalamışlardır [51,52]. Hava yolu şirketleri uçak kabinlerini düzenli bir şekilde dezenfekte etmek, HEPA filtreler kullanmak, uçak içerisinde maske takmak, personel için eldiven, maske ve siperlik gibi koruyucu ekipmanlar kullanmak, ateş ölçümü, uçak içerisindeki alışverişlerde yalnızca kredi kartı kullanımı, konturlarda yolcu ve personel arasına koruyucu seperatörler eklemek, temassız check-in işlemleri gibi pek çok önlem olarak yolculuk öncesi, esnası ve sonrasında salgın hastalığın yayılmasını engellemeyi amaçlamıştır [53-55].

Alınan tedbirlerin havalimanı tarafına bakılacak olursa yine maske zorunluluğu ve ateş ölçme uygulamaları görülmektedir. Bunların yanı sıra terminallere yolcu veya zorunlu refakatçi harici kişilerin karşılayıcı veya uğurlayıcı olarak girmelerine izin verilmemektedir. Muhtelif yerlere sosyal mesafe çizgileri çizmek, el dezenfektanları koymak, termal kamera ile gözetim, x-ray'den geçen bagajların morötesi ışınlar ile temizlenmesi, yer hizmeti veren otobüslerin düzenli bir şekilde dezenfekte edilmesi de bu tedbirlerin bir parçasıdır. Yolcuların hastaneye gitmelerine gerek kalmadan COVID19 testi yaptırabilmeleri adına ise havalimanlarına PCR test laboratuvarları kurulmuştur [56-58].

#### 4. EUROCONTROL'ÜN İYİLEŞME TAHMİNLERİ

Tarihte çoğu kriz örneklerinde olduğu gibi bütün olumsuz geçen dönemlerin ardından havacılık sektörü bir toparlanma sürecine girmiştir. 9 Eylül saldırılarının ardından 1,5 yıl, 2008 ve 2011 ekonomik krizlerinden sonra ise neredeyse 8 yıl toparlanma süreci yaşanmıştır [26]. COVID19 pandemisi de henüz bitmemiş olup aşı çalışmaları devam etmektedir. Buna göre EUROCONTROL 5 yıllık bir tahmin raporu yayınlamış ve toparlanma sürecinin ne şekilde olabileceğini irdelemiştir.

Bu tahmin raporunda toparlanma sürecine ilişkin EUROCONTROL tarafından 3 adet senaryo oluşturulmuştur:

- Senaryo 1: Aşının 2021 yazında geniş kitleler tarafından ulaşılabilir olması veya pandeminin sona ermesi



- Senaryo 2: Aşının 2022 yazında geniş kitleler tarafından ulaşılabilir olması veya pandeminin sona ermesi
- Senaryo 3: Aşının etkisiz olması ve pandeminin devam etmesi

İlk senaryonun gerçekleşmesi durumunda 2021 yılının ortalarında yolcular için yeterli test merkezlerinin olabileceği, yolcuların birçoğunun hava yolu ile seyahat ederken güvenli hissedeceği fakat yaşı ilerlemiş yolcular gibi bazı yolcuların hâlâ uçmak için isteksiz olabileceği belirtilmiştir. Hava yolu işletmeleri ile ilgili ise özellikle low-cost sınıfındaki hava yolu şirketlerinin ve diğer şirketlerin yatırımlarına yavaş yavaş devam edebileceği ve hava taşımacılığına olan talebin artmasıyla personelleri yeniden işe alabilecekleri tahmin edilmektedir. Hava trafiği ise Avrupa’da yıllar içerisinde düzenli bir artış göstererek 2024 yılında pandemi öncesi seviyeleri yakalayabileceği ön görülmüştür.

İkinci senaryoda ise 2022 yılının ortalarına doğru ilk senaryoya benzer şekilde yolcu davranışlarının ve hava yolu işletmelerinin geleceğinin benzerlik göstereceği belirtilmiştir; fakat farklı olarak hava trafiğinin toparlanma süreci bu senaryoda biraz daha fazla sürecek, yıllar içerisinde bir artışla pandemi öncesi seviyelere 2026 yılında ulaşılabilceği tahmin edilmektedir.

Üçüncü senaryo ise en kötü olanı ve aşının etkisiz kalıp pandeminin devam etmesi sonucunda yolcuların hava yolu kullanımı konusunda çekingen kalacağını ve hava yolu şirketlerinin operasyonlarını yürütmekte oldukça zorlanacaklarını belirtmektedir. Yolcuların %60-%70 gibi kısmının talep oluşturacağı fakat uçuş eğilimlerinde kalıcı bir düşüş yaşanacağı yönünde tahminlerde bulunan EUROCONTROL tüm bunlara rağmen pandemi öncesi trafik sayılarına 2029 yılında ulaşılabilceği konusunda tahmin yürütmektedir [17].

## 5. SONUÇ

SARS-CoV-2 virüsünün dünya çapında etkili olmaya başlaması ve ardından Dünya Sağlık Örgütü’nün COVID19 hastalığını pandemi ilan etmesi havacılık sektörünü büyük ölçüde etkilemiştir. Havacılık sektörünün odak noktası olduğu 11 Eylül saldırılarında yaşanan krizden bile daha büyük bir kriz ile karşı karşıya kalmıştır. Hızla yayılan salgının kontrol altına alınmaması, havacılık sektörünü durma noktasına getirmiştir.

Hava yolu şirketleri 1,7 milyar yolcu ve 6,1 milyon uçuş kaybı yaşamıştır; ancak bu krizden yalnızca havayolu şirketleri değil havalimanları ve hava seyrüsefer hizmet sağlayıcıları da etkilenmiştir. Avrupa havacılığı bu süreçte 56,2 milyar Euro net zarar açıklamıştır. Yaşanan ekonomik sıkıntı 191 bin doğrudan iş kaybına sebep olmuştur. Yaz ayları ile birlikte pandeminin görece kontrol altına alınmasıyla ülkeler seyahat





kısıtlamalarını kaldırmıştır. Bunun sonucunda Avrupa'daki uçuş trafiğinde artış gözlenmiş ve 2019 yılına göre uçuş kaybı oranı %90'lardan %50'lere çekilebilmiştir. Yaz sezonundan sonra 2020 yılı sonuna kadar uçuşlarda olağan bir azalma yaşanmış fakat istikrar sağlanamamıştır. Salgının Avrupa havacılık sektörüne verdiği etkinin büyüklüğü yerde kalan uçaklardan da anlaşılabilir. 2020 yılının sonunda Avrupa menşei hava yolu şirketlerinin uçaklarının %51'i yerde kalmıştır.

Pandemi Türk havacılık sektörünü de sarsmıştır ancak sektörün Avrupa'ya kıyasla daha hızlı bir toparlanma süreci geçirdiği öne sürülebilir. Türkiye'de uçuş sayısı istatistiklerine göre en aktif hava yolu şirketi olan Türk Hava Yolları'nın uçuş sayısı yaklaşık olarak yarı yarıya azalmıştır. Buna karşın 2019 yılında Avrupa'da günlük ortalama uçuş sayısı en fazla olan dördüncü hava yolu şirketi iken 2020 yılında ikinciliğe yükselmeyi başarmıştır. Aynı şekilde Pegasus Havayolları Avrupa'da en çok uçuş düzenleyen ilk on hava yolu şirketi arasında kendine yer edinmiştir. Tüm bunlarda Türkiye'nin güçlü iç pazarı etkili olmuştur.

İnsanların seyahatlerine devam edebilmesi ve havacılık sektörünün rahat bir nefes alması için "Travel Bubbles, Immunity Passports" gibi çözüm önerileri üretilmiştir. Bu önerilerin işlevselliğini kısıtlayan etmen SARS-Cov-2 virüsünün oldukça hızlı mutasyon geçirmesi ve öngörülmesinin oldukça zor oluşudur. Aşıların geliştirilmesi ve uygulanmaya başlaması her ne kadar umut verici olsa da EUROCONTROL'un iyimser öngörüsü 2021 yılında 2019'daki uçuş sayısının ancak %51'ine ulaşabileceğidir [26].

## KAYNAKÇA

1. T.C. Sağlık Bakanlığı. 2020. "COVID-19 Nedir ?" <https://covid19.saglik.gov.tr/TR-66300/covid-19-nedir-.html> (erişim tarihi: 22.01.2021)
2. Akca, M. 2020. "COVID-19'un Havacılık Sektörüne Etkisi," Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 7(4), 45-64.
3. Macit, A., Macit, D. 2020. "TÜRK SİVİL HAVACILIK SEKTÖRÜNDE COVID-19 PANDEMİSİNİN YÖNETİMİ," Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 7(4), 100-116.
4. Pehlivanlı, E. A. 2020. "Covid-19'un Havalimanları Performansları Üzerine Etkisinin Değerlendirilmesi: Türkiye Havalimanları Örneği," Electronic Turkish Studies, 15(4).
5. Coşkun, E. ve Şener, B. Ç. 2020. "Türkiye'de Covid-19 sürecinde sosyal medya pazarlaması: Pegasus ve Bim Örneği," İNİF E- Dergi, 5(2), 27-42.
6. Dondurucu, Z. B., & Çetinkaya, A. 2020. "Uluslararası Havayolları Şirketlerinin Covid-19 Salgını Sürecinde Instagram'da Marka İletişimi Stratejilerinin Analizi," Electronic Turkish Studies, 15(4).
7. Koç, M. A. 2020. "COVID-19 SALGINININ YARATTIĞI KÜRESEL KRİZ BAĞ-



LAMINDA SOSYAL MEDYADA KRİZ YÖNETİMİ: TÜRK HAVA YOLLARI ÖRNEĞİ,” *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 7(7), 190-200.

8. **Türker, G. Ö.** 2020. “Covid-19 salgını turizm sektörünü nasıl etkiler? Turizm akademisyenleri perspektifinden bir değerlendirme,” *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 6(2), 207-224.
9. **Demir, M., Günaydın, Y., & Demir, Ş. Ş.** 2020. “Koronavirüs (Covid-19) salgınının Türkiye’de turizm üzerindeki öncülleri, etkileri ve sonuçlarının değerlendirilmesi,” *International Journal of Social Sciences and Education Research*, 6(1), 80-107.
10. **Özdemir, M. A.** 2020. “Covid-19 Salgını Sonrası Alınan Önlemlerle Turizm: Muhtemel Senaryolar,” *Journal of Recreation and Tourism Research/JRTR*, 7(2), 222-238.
11. **Çıtak, N., Çalış, Y. E.** 2020. “COVID-19 SALGININ TURİZM SEKTÖRÜ ÜZERİNE OLAN FİNANSAL ETKİLERİ,” *İda Academia Muhasebe ve Maliye Dergisi*, 3(2), 110-132.
12. **Korkut, Y., EKER, M., Zeren, F., Altunışık, R.** 2020. “Covid-19 Pandemisinin Turizm Üzerindeki Etkileri: Borsa İstanbul Turizm Endeksi Üzerine Bir İnceleme,” *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(COVID-19 Special Issue), 71-86.
13. **Yetgin, M. A.** 2020. “KORONAVİRÜSÜN BORSA İSTANBUL’A ETKİSİ ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA ve STRATEJİK PANDEMİ YÖNETİMİ,” *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5(2), 324-335.
14. **Gümüş, A., Hacıevliyagil, N.** 2020. “Covid-19 Salgın Hastalığının Borsaya Etkisi: Turizm ve Ulaştırma Endeksleri Üzerine bir Uygulama,” *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 11(1), 76-97.
15. **Şit, A., Telek, C.** 2020. “COVID-19 PANDEMİSİNİN ALTIN ONS FİYATI VE DOLAR ENDEKSİ ÜZERİNE ETKİLERİ,” *Gaziantep Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(COVID-19 Special Issue), 1-13.
16. Ito, Harumi, and Darin Lee. “Assessing the impact of the September 11 terrorist attacks on U.S. airline demand.” *Journal of economics and business* vol. 57,1 (2005): 75-95
17. EUROCONTROL. 2020. “Five Year Forecast 2020-2024”
18. World Health Organization. 2015. “Summary of probable SARS cases with onset of illness from 1 November 2002 to 31 July 2003”. <https://www.who.int/publications/m/item/summary-of-probable-sars-cases-with-onset-of-illness-from-1-november-2002-to-31-july-2003> (erişim tarihi: 24.01.2021)
19. **Usman K., Carlucci D.** 2020. “The Novel Coronavirus May Damage Aviation More Than SARS”. <https://www.brinknews.com/the-novel-coronavirus-may-damage-aviation-more-than-sars/> (erişim tarihi: 24.01.2021)
20. **UKEssays.** 2018. “Global Financial Crisis: Aviation Industry Impact”. <https://www.ukessays.com/essays/economics/impact-of-global-financial-crisis-on-the-aviation-industry-economics-essay.php> (erişim tarihi: 24.01.2021)



21. International Civil Aviation Organization. 2020. “Operational Impact on Air Transport”. <https://data.icao.int/COVID-19/> (erişim tarihi: 30.12.2020)
22. Air Transport Action Group. 2020. “COVID19 Analysis Fact Sheet”
23. DHMİ. 2020. “Yıl Sonu İstatistikleri”
24. EUROCONTROL. 2020. “Türkiye COVID19 Brifingi”
25. EUROCONTROL. 2020. “Aviation Intelligence Portal” <https://ansperformance.eu/> (erişim tarihi 30.12.2020)
26. EUROCONTROL. 2021. “Aviation Intelligence Unit, Think Paper #8”
27. EUROCONTROL. 2020. “COVID19 Grounded aircraft in the EUROCONTROL area” [https://ansperformance.eu/covid/acft\\_ground/](https://ansperformance.eu/covid/acft_ground/) (erişim tarihi: 9.01.2021)
28. Pegasus. 2020. “2. Çeyrek Yatırımcı Sunumu”
29. Pegasus. 2020. “Kasım 2020 Karşılaştırmalı Trafik Verileri”
30. Pegasus. 2020. “3. Çeyrek Yatırımcı Sunumu”
31. Ryanair. 2021. “Traffic” <https://investor.ryanair.com/traffic/> (erişim tarihi: 24.01.2021)
32. Airports Council International. 2020. “ACI Advisory Bulletin: Economic impact assessment of COVID-19 on the airport business”
33. International Financa Corporation. 2020. “The Impact of COVID-19 on Airports: An Analysis”
34. Airports Council International Europe. 2020. “Almost 200 European airports facing insolvency in coming months”
35. **Pallini T.** 2020. “Delta, American, and other airlines are parking planes on closed runways at major airports as carriers struggle to store grounded airliners”. [https://www.businessinsider.com/coronavirus-airport-runways-taxiways-used-for-aircraft-storage-2020-3?utm\\_source=copy-link&utm\\_medium=referral&utm\\_content=topbar](https://www.businessinsider.com/coronavirus-airport-runways-taxiways-used-for-aircraft-storage-2020-3?utm_source=copy-link&utm_medium=referral&utm_content=topbar) (erişim tarihi: 24.01.2021)
36. FRANCE 24. 2020. “Paris’s Orly airport to shut as passenger numbers plunge amid coronavirus crisis” <https://www.france24.com/en/20200331-paris-s-orly-airport-to-shut-as-passenger-numbers-plunge-amid-coronavirus-crisis> (erişim tarihi: 24.01.2020)
37. Airports Council International. 2020. “COVID-19 & AIRPORTS Traffic Forecast & Financial Impact” 3 rd Updated Forecast
38. TAV Havalimanları. 2020. “9 Aylık Finansal Sonuç Raporu”
39. **Taşkıran İ.** 2020. “Yurt dışından gelen tüm yolcular termal kameralarla kontrol edilmeye başlandı” <https://www.aa.com.tr/tr/koronavirus/yurt-disindan-gelen-tum-yolcular-termal-kameralarla-kontrol-edilmeye-baslandi/1727460> (erişim tarihi: 25.01.2021)
40. Hürriyet. 2020. “Son dakika haberler: THY açıkladı: Çin seferleri durdurul-



- du” <https://www.hurriyet.com.tr/gundem/son-dakika-haberler-thy-acikladi-cin-seferleri-durduruldu-41434080> (erişim tarihi: 25.01.2021)
41. BBC Türkiye. 2020. “Koronavirüs: Türkiye, İran ile sınır kapılarını geçici olarak kapattı” <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-51603963> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  42. BBC Türkiye. 2020. “Koronavirüs: Adım adım Türkiye’nin Covid-19’la mücadelesi” <https://www.bbc.com/turkce/haberler-turkiye-52899914> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  43. Sözcü. 2020. “THY ve Pegasus 9 ülkeye uçuşları durdurdu!” <https://www.sozcu.com.tr/2020/gundem/thy-ve-pegasus-9-ulkeye-ucuslari-durdurdu-5678714/> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  44. BBC Türkiye. 2020. “Sağlık Bakanı Koca: Bugün 29 kişiye daha koronavirüs tanısı kondu, böylece hasta sayısı 47 oldu” <https://www.bbc.com/turkce/live/haberler-turkiye-51904420> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  45. Amerika’nın Sesi. 2020. “Türkiye İngiltere ve 3 Ülkeden Uçuşları Durdurdu” <https://www.amerikaninsesi.com/a/turkiye-ingiltere-ve-3-ulkeden-ucuslari-durdurdu/5706756.html> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  46. DHA. 2020. “Yurt dışından gelişlerde zorunlu ‘PCR testi ibrazı zorunluluğu’ başladı” <https://www.cumhuriyet.com.tr/haber/yurt-disindan-gelislerde-zorunlu-pcr-testi-ibrazi-zorunlulugu-basladi-1802379> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  47. Wego Travel. 2021. “What is a Travel Bubble? Here’s Everything You Need to Know About the Buzzy New Term in Travel” <https://blog.wego.com/whats-a-travel-bubble/> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  48. McLean S., Davey-Attlee F. 2020. “2 countries welcome travelers with COVID ‘immunity passports’ despite WHO guidance” <https://abc7news.com/immunity-passports-for-travelers-coronavirus-restrictions-covid-hungary/8554765/> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  49. World Health Organization. 2020. ““Immunity passports” in the context of COVID-19” <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/immunity-passports-in-the-context-of-covid-19> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  50. International Air Transport Association. 2020. “IATA Travel Pass for Travelers” <https://www.iata.org/en/youandiata/travelers/iata-travel-pass-for-travelers/> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  51. Pegasus. 2020. “Pegasus, EASA’nın COVID-19 Havacılık Sağlık Emniyeti Protokolü’nü imzaladı” <https://www.flypgs.com/basin-bultenleri/pegasus-easanin-covid-19-havacilik-saglik-emniyeti-protokolunu-imzaladi> (erişim tarihi: 25.01.2021)
  52. **Derdiyok M. A.** 2020. “İstanbul Havalimanı, EASA ‘Kovid-19 Havacılık Sağlık Emniyeti Protokolü’nü İmzaladı” <https://www.aa.com.tr/tr/turkiye/istanbul-havalimani-easa-kovid-19-havacilik-saglik-emniyeti-protokolunu-imzaladi/1888285> (erişim tarihi: 25.01.2021)



53. Pegasus. 2020. “Koronavirüs Önlemleri ve Dezenfektasyon Prosedürü” <https://www.flypgs.com/koronavirus-onlemleri-ve-dezenfeksiyon-proseduru> (erişim tarihi: 25.01.2021)
54. Türk Hava Yolları. 2020. “Yeni Koronavirüs (COVID-19) döneminde seyahat güncellemeleri” <https://www.turkishairlines.com/tr-tr/duyurular/coronavirus-salgini> (erişim tarihi: 25.01.2021)
55. Türk Hava Yolları. 2020. “Güvenli Seyahat Standartlarımız” <https://www.turkishairlines.com/tr-int/guvenli-seyahat-standartlarimiz/> (erişim tarihi: 25.01.2021)
56. İstanbul Havalimanı. 2020. “İstanbul Havalimanı’nda Covid-19 Kapsamında Alınan Önlemler” <https://www.istairport.com/tr/covid19> (erişim tarihi: 25.01.2021)
57. Antalya Havalimanı. 2020. “COVID-19 Tedbirleri” <https://www.antalya-airport.aero/yolcu-ve-ziyaretci/covid-19-tedbirleri> (erişim tarihi: 25.01.2021)
58. Sabiha Gökçen Havalimanı. 2020. “Covid-19” <https://www.sabihagokcen.aero/covid-19> (erişim tarihi: 25.01.2021)

# Farklı Mesafeli ve Üçlü-Çapraz Yerleştirilmiş Çatısız Binalar Etrafındaki Akış Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi

Deniz Gölbaşı<sup>1</sup>, Ertan Buyruk<sup>2</sup>, Koray Karabulut<sup>3\*</sup>

## ÖZ

Çalışmada, üçlü-çapraz yerleştirilmiş ve binalar arası mesafenin 7.5 cm ve 10 cm olduğu 5cmx5cmx5cm boyutlarında çatısız binalar etrafındaki akış yapıları deneysel olarak Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçüm (PIV) tekniği kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, çatısız bir binanın etrafındaki akış analizi daimi, üç boyutlu, k-ε türbülans modeli ANSYS Fluent programıyla sayısal olarak yapılmış ve ulaşılan sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışmada, akım çizgisi  $\langle \psi \rangle$  ve hız vektörleri  $\langle V \rangle$  dağılımları çizilmiş ve ortalama eşdeğer hız eğrileri farklı binalar arası mesafeler için araştırılmıştır. 7.5 cm' lik mesafeye göre, 10 cm' lik mesafede jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış bölgesinin küçüldüğü belirlenmiştir. Bununla birlikte, deneysel ve sayısal sonuçlar arasında en fazla % 3' lük bir farklılık bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Bina aerodinamiği, parçacık görüntülemeli hız ölçümü (PIV), girdap

## Experimental Research of Flow Characteristics Around Buildings without Roof Placed Different Distance and Triple-Diagonal

### ABSTRACT

In study, flow structures around buildings placed triple-diagonal and 7.5 cm and 10 cm distances between buildings with dimensions of 5cmx5cmx5cm without roof were investigated as experimental by using Particle Image Velocimetry (PIV) technique. Besides, flow analysis vicinity one building without roof as numerical with ANSYS Fluent program having steady, three dimensional, k-ε turbulence model was done and the attained results were matched with these of experimental. In the work, distributions of streamline  $\langle \psi \rangle$  and velocity vectors  $\langle V \rangle$  were drawn and average equivalent velocity curves were researched for different distances between buildings. It was determined that jet flow region fairly enlarged at 10 cm distance according to distance of 7.5 cm and flow separation area around building placed as diagonal shrank. However, it was found that there is at most a 3% differences between experimental and numerical results.

**Keywords:** Building aerodynamic, particle image velocimetry (PIV), vortex

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 08.02.2021

Kabul/Accepted : 10.03.2021

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas  
dgozbasi@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0003-0080-9996

<sup>2</sup> Prof. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas  
buyruk@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0002-6539-7614

<sup>3</sup> Doç. Dr., Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Elek. ve En. Böl. Doğalgaz ve Tesisatı Teknolojisi Prog., Sivas, kkarabulut@cumhuriyet.edu.tr, ORCID: 0000-0001-5680-0988



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction/Background

Aerodynamic is an important factor in interaction of noxious aerosols, gases and particles emitted into the atmosphere with terrain, vegetation and buildings by affecting flow structure around buildings. Separation zones and various vortex groups formed by wind interaction between the building and the surrounding space are of great importance in determining the wind interactions affecting buildings and considering the appropriate design parameters. Vibrations caused by the growth of vortexes caused by the interaction of wind with buildings can cause noise and damage in particular.

### Objectives/Research Purpose

The structures and wind interactions around them shape separation zones and multiple vortex systems. The separation zones and vortexes that are formed are of great importance in determining the wind forces acting on buildings. In addition, knowing the flow structures in the buildings contributes to the prevention of particles such as dust, soil, leaves, rain and snow at the ground level from rising with the vortex movements and mixing into the interior environment of the building. Therefore, in this study, flow structures around buildings placed triple and diagonal and 7.5cm and 10cm distances between buildings with dimensions of 5cmx5cmx5cm without roof were investigated as experimental by using Particle Image Velocimetry (PIV) technique. Besides, flow analysis around one building with dimensions of 5cmx5cmx5cm without roof as numerical with three dimensional, steady, k-ε turbulence model by employing ANSYS Fluent program and the attained results were matched with these of experimental.

### Methods/Methodology

In general, PIV technique consists of two steps: visualizing velocity measurement and image processing. Small particles that follow the flow are added to the flow area. These added particles are illuminated twice in a short time with a light source on the surface to be measured. The time difference between the successive illumination of the light source is adjusted according to the average flow rate and magnification scale of the imaging. During the time between the two illuminations, the particles move at the local flow rate. The light scattered by the particles is detected by a high resolution camera placed perpendicular to the light layer and recorded on two frames. The resulting photographic PIV records are then digitized using a scanner and transferred to the computer.

### Results/Findings

In the work, distributions of streamline  $\langle \psi \rangle$  and velocity vectors  $\langle V \rangle$  were drawn. Average equivalent velocity curves at x and y directions were also analyzed for different distances between buildings. Jet flow region fairly enlarged in the case of 10cm distance when matched with the case of 7.5cm distance between buildings and it was determined that flow separation area around building placed as diagonal shrank. Also, in this situation jet flow area enlarged and therefore different vortex structures occurred in the rear areas of the building. As a result, it was determined that the flow structure around the buildings and the wind forces acting on the buildings were influenced by the direction and intensity of the incoming wind, as well as the layout of the buildings and the distance between buildings. However, it was determined that there is at most a 3% deviation between experimental and numerical results.

### Discussion and Conclusions

When the vortexes at the sides and behind the buildings are examined for the distance between both buildings, it is seen that they are not symmetrical to each other. This situation is caused by the reverse flow regions formed in front of the buildings, along the side walls and at the rear as the incoming flow is separated from the corners and edges of the buildings. As a result of this situation, there are decreases in vector densities in the parts where there are vortexes, which proves that the flow velocity decreases here. Therefore, when positioning buildings, they should be designed taking into account the wind flow around them. Besides, turbulence magnitudes increase in the mixing zone separating the reverse and free flow zones. This situation increases the wind forces acting on the buildings. As a result, it is seen that the flow structure around the buildings and the wind forces acting on the buildings are influenced by the direction and intensity of the incoming wind, as well as the placement arrangements of the buildings and the distance between buildings.



## 1. GİRİŞ

Aerodinamik, insanlar için sağlıklı ve konforlu bir çevre yaşamı oluşturulmasında ortamın ısıl şartlarını değiştiren rüzgarı hesaba katan bir iklim unsurudur. Çeşitli büyüklüklerdeki binalar ve baca yapıları, köprüler gibi birçok mühendislik uygulamaları üzerindeki akışlar araştırmacılar tarafından önemli olması sebebiyle özel bir inceleme konusu haline gelmiştir. Bina ve çevre mahalli arasında rüzgar dolayısıyla meydana gelen ayrılma bölgeleri ve çeşitli girdap oluşumları binalar üzerinde etkili olan rüzgar sistemlerinin belirlenmesinde ve en uygun tasarım değişkenlerinin dikkate alınmasında oldukça büyük bir öneme sahiptir. Rüzgarın binalar üzerindeki etkisiyle oluşan girdapların büyümesiyle meydana gelen titreşimler gürültü ve hasara sebebiyet verilmektedir [1]. Tutar ve Oğuz [2] tek ve çift olarak yerleştirilmiş kare şeklindeki bina yapıları etrafındaki türbülanslı akış bölgelerini farklı rüzgar açıları ve farklı geometrik düzenlemeler için sonlu hacim yöntemiyle incelemiştir. RNG türbülanslı model için bulunan sonuçları rüzgar tüneli sonuçları ile kıyaslamışlardır. Sayısal ve deney sonuçları arasındaki uyumun tek bina düzenlemesi için özellikle bina çatısı civarında olduğunu belirlemiştir.

Blocken ve arkadaşları [3] Montreal şehir merkezinde belirledikleri bina etrafındaki kirlilik durumunu rüzgar tüneli deneyleriyle 2 farklı türbülans modelini kullanarak araştırmışlardır. Rüzgâr tüneli sonuçlarını CFD ile doğrulamışlardır. RANS ve LES türbülans modelleri kullanılarak çalışmalar yapılmış ve LES yaklaşımının her iki rüzgar yönü için CFD ve deneysel sonuçlarla uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir. Gölbaşı ve arkadaşları [4] çatısız 5x5x5cm ve 30o eğimli çatılı 5x5x5cm boyutlarında binalar etrafındaki akış yapılarını aralarında 13.75cm boşluk olacak şekilde ikili olarak yerleştirilmesiyle Parçacık Görüntülemeli Hız (PIV) tekniğini kullanarak deneysel olarak incelemiştir. Gölbaşı ve arkadaşları [5] yaptıkları bir diğer çalışmada, farklı yüksekliklere sahip iki bina modeli civarındaki akış özelliklerini üst görünüş olarak iki farklı ölçüm yüzeyi ( $y/h=0.5$  ve  $y/h=1$ ) ve yan görünüş olarak ise  $y/h=0.5$  yüzeyi için parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniğini kullanarak deneysel olarak araştırmışlardır. Çalışmalarında ayrıca, sonlu hacimler yöntemi ANSYS Fluent programıyla sayısal olarak da incelemiştir. Binaların köşelerinden ve kenarlarından gelen rüzgarların ayrılmasının bir sonucu olarak çatı yüzeylerinde, binaların yan kenarları boyunca ön ve arkalarında ters akış bölgeleri oluştuğunu belirlemiştir. Daemei ve Eghbali [6], yüksek binaların türbülanslı bölgesinin uzunluğunu azaltmak için yuvarlatılmış köşeler, oluklu köşeler ve girintili köşeler dahil olmak üzere aerodinamik modifikasyonlar yoluyla kare ve üçgen formlarında aerodinamik davranışın analizini gerçekleştirmişlerdir. 16 bina modeli üzerinde gerçekleştirilen rüzgar tüneli sayısal simülasyonuna benzer şekilde Autodesk akış tasarımı yazılımını kullanmışlardır. Yaklaşık 150 m yüksekliğe sahip 50 katlı yüksek binalar tasarlamak için üçgen şekle sahip modelin rüzgar yönüne bakan oluklu köşesinin aerodinamik modifikasyonu ile





diğer modellere kıyasla en iyi aerodinamik davranışa sahip olduğunu saptamışlardır. Wheatley ve arkadaşları [7] kat kat inşa etme ilkeleri olan origami ve kirigamiyi kullanarak tasarlanmış dinamik bina yapılarını dikkate alarak şiddetli rüzgarlı darbele-ri sönmölemek için daha kapsamlı bir yapı tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Rüzgar akışına bir açıda yönlerin sayısını artırarak ve bina cephelerinin boyutunu azaltarak, rüzgar akışına karşı doğrudan gövde boyutunun en aza indirilebileceğini ve rüzgar direncinin azaltılabileceğini belirlemişlerdir. Yan ve Li [8] aerodinamik düzenleme ile ikiz yüksek binalar arasındaki etkileşimin sonuçlarını incelemek amacıyla rüzgar tüneline deneyler yapmışlardır. Çalışmada, rüzgarın oluşturduğu tepkiyi, yerel basınç katsayılarını ve küresel aerodinamik yüklerle etkileşimin etkilerinin bir bütün olarak değerlendirilebilmesi için kontur çizimini sunmuşlardır. Sonuçlar, dinamik rüzgar yüklerinin ve tepkilerinin, ikiz kulelerin sıralı ve çapraz düzenlemelerinde önemli ölçüde arttığını ve en az değerdeki negatif basınç katsayısı değerlerinin, etkileşimli olmayanlardan yaklaşık olarak %30 daha büyük olduğunu kanıtlamıştır.

Yapılar ve etraflarındaki rüzgar etkileşimleri, ayrılma bölgelerini ve çoklu girdap sistemlerini şekillendirmektedir. Oluşan ayrılma bölgeleri ve girdaplar, binalara etkileyen rüzgar kuvvetlerini belirlemede büyük bir öneme sahiptir. Ayrıca, binalardaki akış yapılarının bilinmesi hem tasarım açısından hem de zemin seviyesinde bulunan toz, toprak, yaprak, yağmur ve kar gibi parçacıkların girdap hareketleri ile yükselerek bina iç ortamına karışmasının engellenmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada bina merkezleri arası mesafenin 7.5 cm ve 10 cm olduğu 5cmx5cmx5cm boyutlarında çapraz olarak konumlandırılmış üç adet çatısız bina modelinin etrafındaki akış yapıları deneysel olarak Parçacık Görüntülemeli Hız tekniği (PIV) kullanılarak incelenmiştir. Bunun yanı sıra, çatısız 5cmx5cmx5cm boyutlarındaki bir binanın etrafındaki akış analizi sayısal olarak üç boyutlu, zamandan bağımsız, k-ε türbülans modeli ANSYS Fluent programından yararlanılarak yapılmış ve ulaşılan sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla kıyaslanmıştır. Başlangıçta deneylerde anlık hız alanlarına ulaşılmış ve sonra bu veriler kullanılarak akım çizgisi  $\langle \psi \rangle$  ve hız vektörleri  $\langle \mathbf{V} \rangle$  dağılımları çizilmiştir. Bununla birlikte, ayrıca ortalama eşdeğer hız eğrileri dağılımları her iki binalar arası mesafe için analiz edilmiştir.

## 2. DENEYSEL YÖNTEM

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneyler, kapalı devre olarak işlem gören açık yüzeyli bir su kanalında Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçme Tekniğiyle yapılmıştır. Kanal malzemesi olarak fiberglas malzeme kullanılmıştır. Kanal, iki adet su tankı ve tanklar arasına yerleştirilen test kanalı adı verilen şeffaf akrilik bir parçadan meydana gelmektedir.

Test kanalı 750 mm yüksekliğe, 1000 mm genişliğe ve 9000 mm uzunluğa sahiptir. Suyun su depoları arasındaki dolaşımı 15 kW gücünde santrifüj bir pompa ile sağlan-

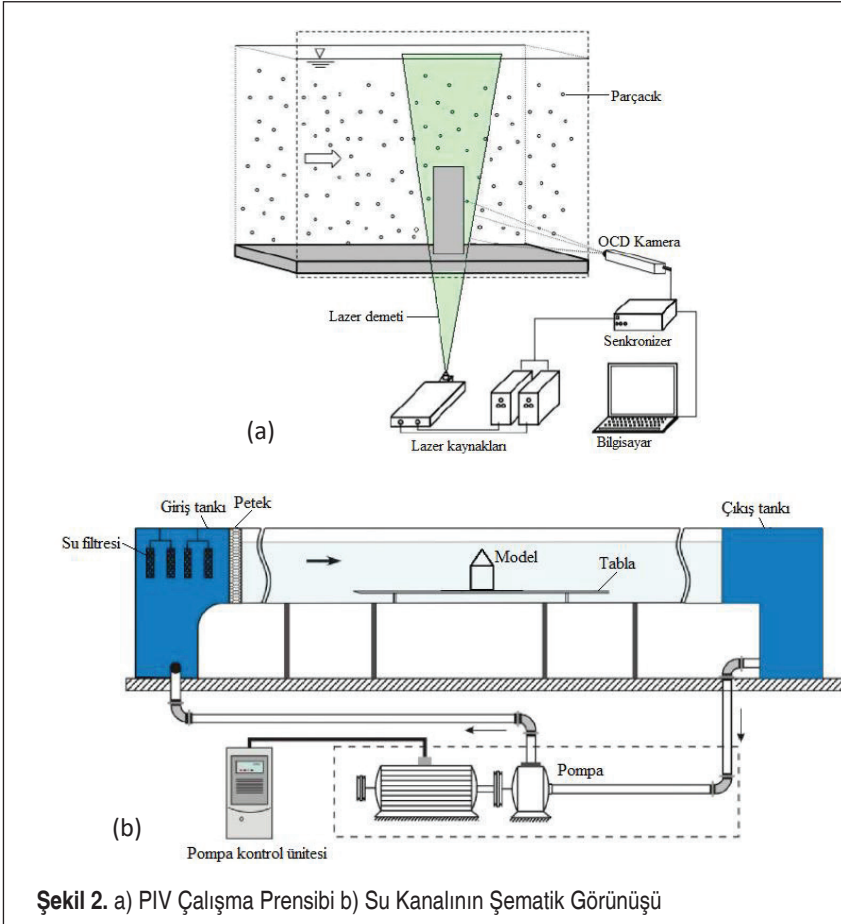


maktadır. Test bölgesinde farklı hızlarda deneyler gerçekleştirebilmek için santrifüj pompanın periyodu frekans kontrolü olan hız ünitesi vasıtasıyla ayarlanabilmektedir. Pompa, çıkıştaki su tankından suyu emip, girişteki su tankına göndermektedir. Deneyler sırasında, test kanalında akışın sürekliliğini temin edebilmek için girişteki tankın çıkışına akış düzenleyici bir bal peteği biçiminde levha yerleştirilmiş ve giriş rezervuarının çıkışı ve test kanalının birleşimi arası oran olarak 2:1 daraltılarak bağlantı yapılmıştır. Test sisteminde giriş deposu aynı zamanda su bekleme odası olarak da hizmet vermekte ve buradan su akış düzenleme bölümüne geçerek test kanalına girmektedir. Sistemde suyu tank içerisindeki yabancı parçacık ve kirlere ayıran filtrasyon sistemi bulunmaktadır. Bununla birlikte, su kanalı ile parçacık dolaşım sistemlerinin ısı temasını minimum düzeyde tutabilmek amacıyla laboratuvar 22 °C' lik bir oda sıcaklığında tutulmuştur. Bunun yanı sıra, lazer ışını güneş ışığından korumak için laboratuvar camları özel perdelerle kapatılmıştır. Test kanalının görünüşü Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Test Kanalı

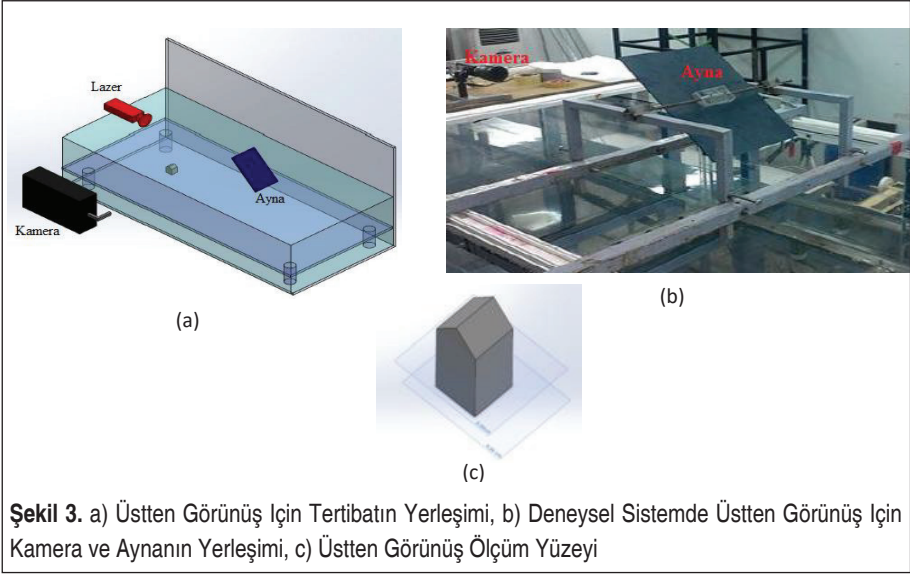
Genel olarak, parçacık görüntülemeli hız ölçüm tekniği iki adımdan oluşur: hız ölçümünü görselleştirme ve görüntü işleme. Akışı takip edebilmek amacıyla akış alanına küçük boyutlu parçacıklar katılmaktadır. Katılan parçacıklar, ölçülecek yüzeydeki bir ışık kaynağı ile kısa sürede iki kez aydınlatılır. Işık kaynağının ardışık aydınlatması (çoğunlukla lazer) arasında geçen zamansal fark, görüntülemenin ortalama akış hızına ve büyütme ölçeğine göre ayarlanır. Parçacıklar, iki aydınlatma arası geçen süre itibarıyla yerel akış hızında hareket ederler. Parçacıkların saçtığı ışık, ışık katmanına dik yerleştirilen yüksek çözünürlüklü kamera ile algılanır ve iki kare üzerine kaydedilir. Elde edilen fotoğraflık PIV kayıtları daha sonra bir tarayıcı kullanılarak sayısallaştırılır ve bilgisayara aktarılır [9]. Şekil 2(a), PIV' nin çalışma prensibini göstermektedir. Akış özelliklerini araştırmak için şeffaf akrilik malzemeden yapılmış 3 yapı modeli kullanılmıştır. Su kanalı içindeki test alanının şematik görünümü Şekil 2(b)'de verilmiştir. Deneyler sırasında su kanalındaki su yüksekliği sabit 0.45 m olarak alınmıştır.



Düzlem platformunun ön kenarı, akışın bozulmasını önlemek için pah kırma ile inceltiştir. Model, türbülans etkilerine karşı koruma sağlamak amacıyla kanalın girişinden 1.5 m uzağa monte edilmiştir. Deneyler, 210 mm/s' lik bir serbest akış hızında gerçekleştirilmiştir.

### 3. ÜST GÖRÜNÜŞ ÖLÇÜM YÜZEYLERİ

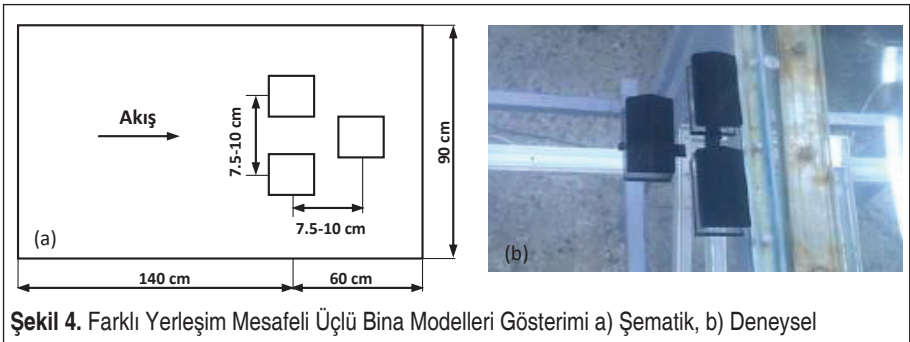
Şekil 3(a)' da gösterildiği gibi kamera kanalın karşısına yerleştirildiğinde, lazer, üst görünüş için binanın önüne yerleştirilmekte ve deneysel sistem, kameranın önünde 45o' lik bir eğimle ayna konumlandırılarak oluşturulmaktadır. Deneysel sistemde üst görünüş için kamera ve ayna yerleşimleri Şekil 3(b)' de belirtilmektedir. Bununla birlikte, Şekil 3(c)' de gösterilen simetri yüzeyi, üst görünüş için  $y/H = 0.5$ ' de alınmıştır.



#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR

Herhangi bir konum ve zamandaki hız, türbülans hız bileşenlerini ve ortalamaların toplamını içermektedir. Bu çalışmada, her bir ölçüm yüzeyi için ortalama hızlar ortalama olarak 500 görüntü için hesaplanmıştır. Akım çizgileri, herhangi bir anda yerel hız vektörlerinin tanjantı olan çizgilerin birleşimi olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte, girdap akış parçacıklarının dönmesinin bir ölçüsüdür. Her bir ölçüm yüzeyi için girdap değerleri, ortalama hızlar kullanılarak hesaplanmıştır.

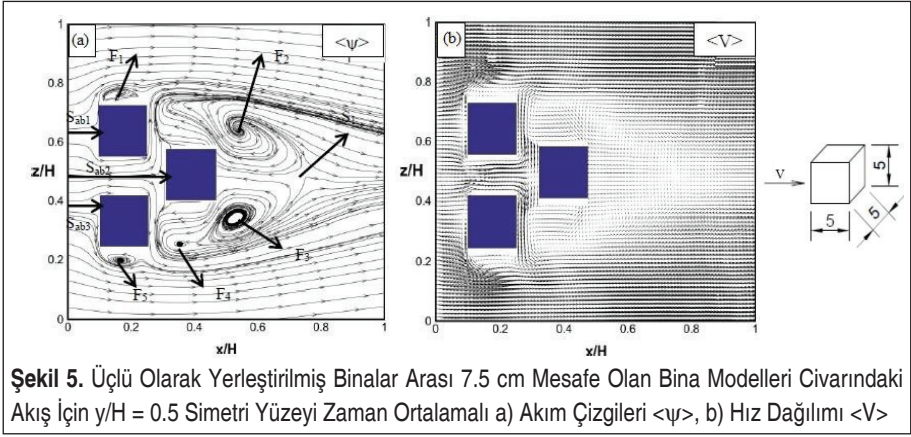
Deneylerin sonucu olarak, binalar etrafında oluşan akış yapısı akım çizgileri  $\langle \psi \rangle$  ve hız dağılımı  $\langle V \rangle$  olarak sunulmuştur. Elde edilen deneysel verilerde, hız vektörleri akış dağılımı ve yönünü belirtirken, akım çizgileri anlık akış verilerinin anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Ortalama eşdeğer hız eğrileri, türbülans sınır tabakanın etkisiyle





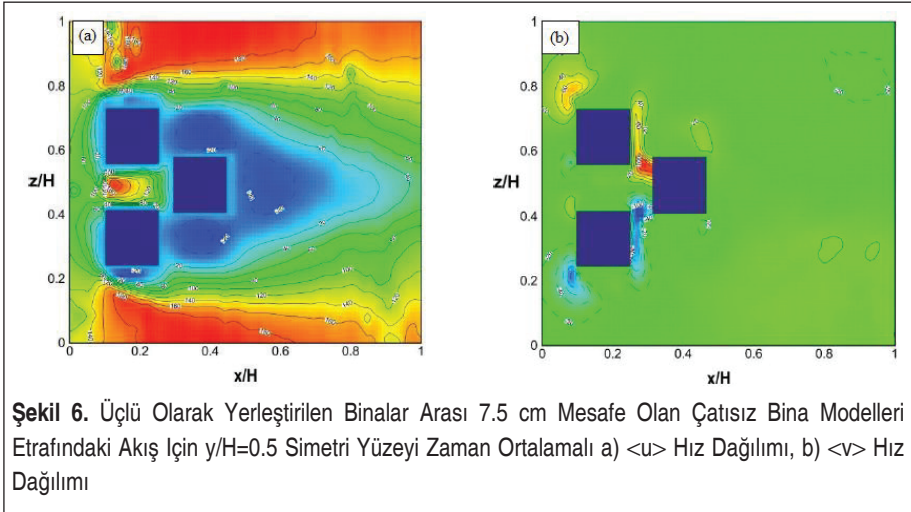
oluşturmuştur. Ayrıca, Şekil 4(a) ve (b)' de sırasıyla birbirlerinden farklı mesafelerde yerleştirilmiş binaların şematik ve deneysel konumlanmaları gösterilmektedir.

Şekil 5(a), (b)'de sırasıyla 5cmx5cmx5cm boyutlarında üç adet çatısız bina modelinin kanal içerisindeki plaka üzerine bina merkezleri arası mesafenin 7.5 cm olduğu durum için çapraz olarak yerleştirilmesiyle akım çizgileri  $\langle \psi \rangle$  ve hız vektörleri  $\langle V \rangle$  dağılımları incelenmiştir. Şekil 5(a)' da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde birbirlerine simetrik bir yapıda olmadıkları görülmektedir. Bu duruma, gelen akışın binaların köşe ve kenarlarından ayrılmasıyla yapıların önünde ve yan duvarları boyunca ve arka kısmında oluşan ters akış bölgeleri sebep olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak da girdapların olduğu kısımlarda akış hızları azalmaktadır. Bununla birlikte, üst bina modelinde bina ön yüzeyinden Sab1 noktasından yukarıya doğru ayrılan akış model sol yan köşesinden ayrılarak düzensiz bir F1 girdap bölgesi meydana getirmektedir. Oluşan girdap merkezinin koordinatları  $x = 50.65$  mm ve  $z = 179.52$  mm noktasındadır. Aşağıya doğru ayrılan akış, model sağ yan köşesinden ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam etmektedir. Bu nedenle yüzey üzerinde ayrılmış akışa sahip bir ikincil akış bölgesi oluşmamaktadır. Üst bina ile alt bina arasında kısa mesafe nedeniyle burada jet akış oluşmaktadır. İki bina arasında oluşan jet akış yüksek hızla arkadaki binaya çarparak  $S_{ab2}$  noktasından aşağı ve yukarıya doğru ayrılmaktadır. Üst bina arkasındaki akış yapısı incelendiğinde, jet akış etkisiyle binanın sağ yan tarafından yukarı doğru yönelmiş akışla binanın sol yan tarafından tekrar tutunan akış birleşmektedir. Ayrılan akış kısmından itibaren bir girdap meydana gelmiştir. Bu girdabın merkezi  $x = 171.06$  mm ve  $z = 148.41$  mm noktasında olup, saat yönünde dönmektedir. Arka binanın alt kısmında  $F_2$  girdabına simetrik olmayan bir girdap bölgesi oluşmuş ve bu girdap bölgesi bölünerek büyük  $F_3$  ve devamında küçük bir  $F_4$  girdap bölgesi oluşturmuştur. Büyük  $F_3$  girdap merkezinin koordinatları  $x = 167$  mm ve  $z = 79.92$  mm noktasındadır. Küçük  $F_4$  girdabı ise  $x = 110.87$  mm ve  $z = 59.12$  mm noktasındadır. Simetrik olarak oluşmayan bu iki girdap arasındaki durma noktası olan  $S_1$  noktası  $x = 232.98$  mm ve  $z = 116.28$  mm olarak belirlenmiştir. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde Sab3 noktasından aşağıya doğru ve yukarıya doğru ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına benzer yapıda olup aşağı ayrılan akış bina sağ yan köşesinden ayrılarak  $F_5$  girdap bölgesini oluşturmuştur. Bu girdap merkezinin koordinatları  $x = 52.99$  mm ve  $z = 45.89$  mm noktasındadır. Şekil 5(b)'de ölçümler sonucu ulaşılan 7326 (99x74) adet vektör gösterilmektedir. Zaman ortalamalı hız alanları  $\langle V \rangle$  için bina yakınlarındaki hız vektörleri ve hız vektör uzunluklarının da azalması nedeniyle bu bölgelerde hızlar azalmıştır. Bununla birlikte, bina çevresinden uzaklaştıkça hız vektörlerinin bulunduğu alanların arttığı ve hız vektör uzunluklarının artması sebebiyle de hız değerlerinin arttığı görülmektedir. Hızın yükseldiği bölgeler, özellikle bina üzerinde oluşan girdap üst bitim noktalarında bulunmaktadır.



Şekil 5. Üçlü Olarak Yerleştirilmiş Binalar Arası 7.5 cm Mesafe Olan Bina Modelleri Civarındaki Akış İçin  $y/H = 0.5$  Simetri Yüzeyi Zaman Ortalamalı a) Akım Çizgileri  $\langle \psi \rangle$ , b) Hız Dağılımı  $\langle V \rangle$

Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen üç adet çatısız model için binalar arası mesafenin 7.5 cm olması durumunda  $x$  ve  $y$  yönlerindeki ortalama eşdeğer hız eğrileri dağılımları sırasıyla Şekil 6(a) ve (b)'de gösterilmektedir. Binalar arasında jet akış bölgesi oluşmuştur ve oluşan bu jet akış bölgesi binalar arası mesafeye bağlı olarak genişleyebilmekte fakat bu durumda hız azalmaktadır. Arka binada oluşan ayrılmış akış bölgesi  $x/H = 0.65$  noktasında olup, binalar arası mesafenin artmasıyla gerileyebilmektedir(Şekil 6(a)). Şekil 6(b)'de  $y$  yönündeki ortalama eşdeğer hız dağılımları verilmektedir. Burada, özellikle görüldüğü gibi kanal girişinin alt ve üst kısımlarındaki binaların keskin köşelerinde oluşan akışlar bina arkalarında oluşan akışlardan ayrılmış olup, birbirlerinden bağımsızdırlar.

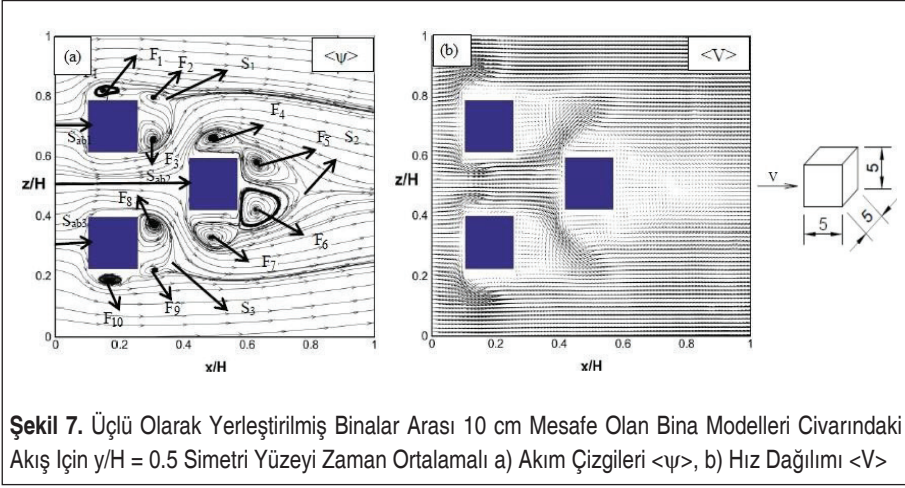


Şekil 6. Üçlü Olarak Yerleştirilen Binalar Arası 7.5 cm Mesafe Olan Çatısız Bina Modelleri Etrafındaki Akış İçin  $y/H=0.5$  Simetri Yüzeyi Zaman Ortalamalı a)  $\langle u \rangle$  Hız Dağılımı, b)  $\langle v \rangle$  Hız Dağılımı





Boyutları 5cmx5cmx5cm ve bina merkezleri arası mesafenin 10 cm olduğu üç adet çatısız bina modeli için binalar etrafındaki zaman ortalamalı akım çizgileri  $\langle \psi \rangle$  ve hız vektörleri  $\langle V \rangle$  dağılımları sırasıyla Şekil 7(a) ve (b)'de verilmektedir. Şekil 7(a)'da görüldüğü gibi binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde, oluşan ters akış bölgeleri sonucu birbirlerine simetrik bir yapıda olmadıkları dikkati çekmektedir. Bunun yanı sıra, binalar arası mesafenin 7.5 cm olduğu duruma göre mesafenin artması nedeniyle jet akış alanı genişlemiş ve buna bağlı olarak bina arka bölgelerinde farklı girdap yapıları oluşmuştur. Ayrıca arka kısma yerleştirilmiş binanın yan bölgelerinde oluşan girdap yapıları küçülerek değişime uğramıştır. Üst bina modelinin bina ön yüzeyinde  $S_{ab1}$  noktasından yukarıya doğru ayrılan akış, model sol yan köşesinden ayrılarak bir  $F_1$  girdap bölgesi meydana getirmektedir. Oluşan girdap merkezinin koordinatları  $x = 47.21$  mm ve  $z = 191.873$  mm'dir. Aşağıya doğru ayrılan akış, model sağ yan köşesinden akışın bir kısmı ayrılmadan yukarıya doğru akışına devam ederken  $F_1$  girdabının tekrar birleşme noktasındaki akışla birleşmektedir. Bu noktada  $S_1$  durma noktası oluşmuş olup, bu noktanın merkezi  $x = 106.25$  mm ve  $z = 182.89$  mm olarak belirlenmiştir.  $S_1$  durma noktasının sol yanında küçük bir  $F_2$  girdabı ve altında ona daha büyük bir  $F_3$  girdabı oluşmuştur.  $F_2$  girdap merkezinin koordinatları  $x = 95.83$  mm ve  $y = 186.20$  mm noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Bununla birlikte,  $F_3$  girdap merkezi ise  $x = 96.41$  mm ve  $z = 153.13$  mm noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir. İki bina arasında oluşan jet akış, yüksek bir hızla arkadaki binaya çarparak  $S_{ab2}$  durma noktasından aşağı ve yukarı ayrılmıştır. Üst yan ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek  $F_4$  ve devamında  $F_5$  girdap bölgelerini oluşturmuştur.  $F_4$  girdabının merkezi  $x = 155.44$  mm ve  $z = 154.55$  mm noktasında olup saat yönünde dönmektedir.  $F_5$  girdabı ise  $x = 198.28$  mm ve  $z = 134.71$  mm noktasında olup yine saat yönünde dönmektedir. Alt yan ve arka bölgede oluşan girdap bölgeleri eşit boyutlarda bölünerek  $F_6$  ve devamında  $F_7$  girdap bölgelerini oluşturmuştur.  $F_6$  girdap merkezi  $x = 195.96$  mm ve  $z = 97.86$  mm noktasında olup saat yönünün tersinde dönmektedir.  $F_7$  girdabı ise  $x = 153.13$  mm ve  $z = 77.07$  mm noktasında olup saat yönünde dönmektedir. Simetrik olarak oluşan bu iki girdap arasındaki durma noktası olan  $S_2$  noktası  $x = 243.42$  mm ve  $z = 112.58$  mm olarak belirlenmiştir. Alt tarafa yerleştirilen bina modelinde  $S_{ab3}$  noktasından aşağı ve yukarı ayrılan akış, üst taraftaki bina modelinin akış yapısına simetrik oluşmuş olup, yukarı ayrılan akışın bir kısmı ayrılmadan aşağıya doğru hareket etmektedir. Akışın diğer kısmı bina arkasında iki girdap bölgesi oluşturmuştur. Büyük olan  $F_8$  girdap merkezi,  $F_3$  girdap merkezinin  $x$  koordinatıyla aynı noktada oluşmuş olup  $x = 96.41$  mm ve  $z = 86.99$  mm noktasındadır ve saat yönünde dönmektedir. Büyük girdabın devamında oluşan  $F_9$  girdap merkezinin koordinatları  $x = 97.56$  mm ve  $z = 52.04$  mm noktasındadır. Bu girdabın sağ yanında  $S_3$  durma noktası oluşmuş olup  $x = 113.77$  mm ve  $y = 52.87$  mm olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte, bina ön yüzünden aşağı doğru ayrılan akış bina sağ yan köşesinden ayrılarak  $F_{10}$  girdap bölgesini



oluşturmuştur. Bu girdap merkezi  $x = 52.99$  mm ve  $z = 44$  mm noktasındadır. Ayrıca, Şekil 7(b)'de zaman ortalamalı hız dağılımlarında  $\langle V \rangle$  jet akışının etkisi ile hızın yüksek yoğunluklu olduğu alanlar daha açık bir şekilde görülmektedir.

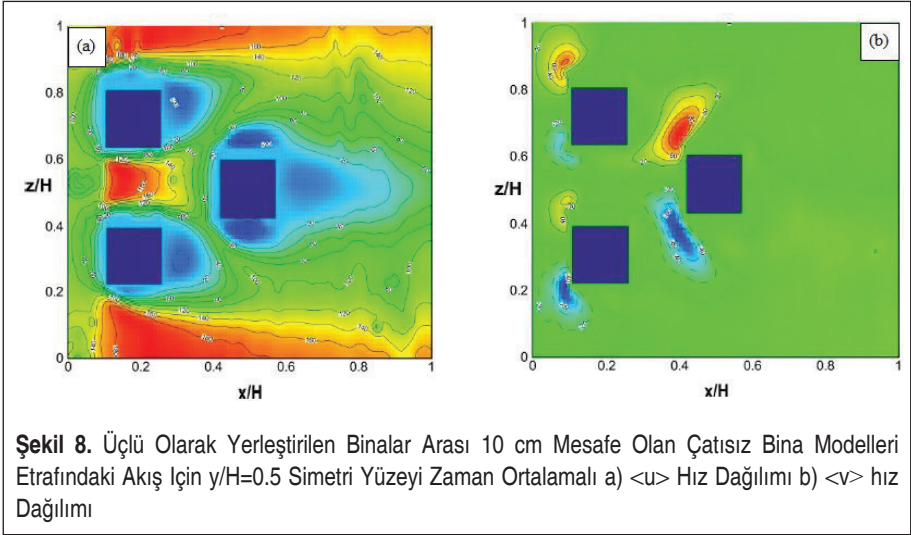
Üçlü olarak çapraz şekilde yerleştirilen binalar arası mesafenin 10 cm olduğu  $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$  boyutlarındaki üç adet çatısız modelin etrafındaki ortalama eşdeğer hız eğrileri dağılımları  $y/H = 0.5$  simetri yüzeyinde,  $x$  ve  $y$  yönleri için sırasıyla Şekil 8(a) ve (b)'de verilmektedir. Binalar arası mesafenin 7.5 cm olduğu durumla kıyaslandığında (Şekil 8(a)) jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış bölgesinin küçüldüğü görülmektedir. Aynı şekilde,  $y$  yönündeki ortalama eşdeğer hız eğrileriyle karşılaştırıldığında yine jet akış bölgesinin genişlediği ve kanal girişindeki alt ve üst kısımlardaki binaların alt ve üst bölgelerinde aşağı ve yukarı akış bölgelerinin oluştuğu saptanmıştır. Ayrıca, çapraz bina ön bölgesindeki aşağı ve yukarı akış bölgesi arası mesafeleri artmıştır.

## 5. SAYISAL İNCELEME

Sayısal çalışma, üç boyutlu ve daimi olarak  $k-\epsilon$  türbülans modeli sonlu hacimler yöntemi olan ANSYS Fluent bilgisayar programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışmada, tek  $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$  boyutlu çatısız bina için elde edilen deneysel çalışma sonucunun (PIV), sayısal çalışmadan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmıştır.

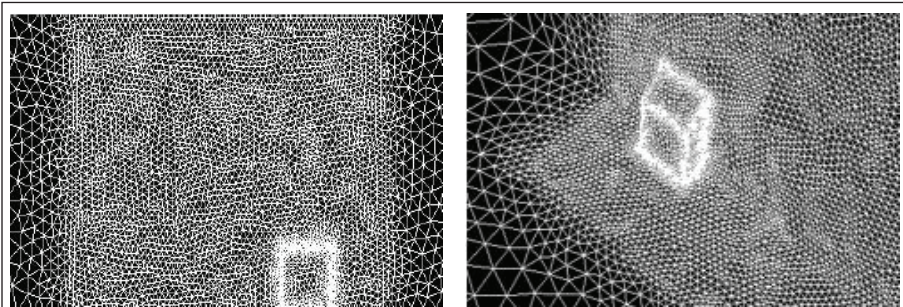
Sonlu hacim yöntemi, bölümlerin her biri için bir çözüm bulmak üzere çözülecek geometriyi parçalara ayırma ve daha sonra soruna genel bir çözüm bulmak amacıyla bu çözümleri birleştirmek ilkesine dayanmaktadır. Bu yöntem, ısı, akış denklemlerini sayısal olarak çözülebilen cebirsel denklemlere dönüştürmek için kontrol hacmine dayalı bir teknik kullanır. Diğer bir deyişle, bu teknik, her bir kontrol hacminde ısı,





akış denklemlerinin integrasyonunun alınması esasına dayanmaktadır. Bu integrasyon sonucu, oluşan her bir kontrol hacmini temsil eden denklemleri sağlar. En uygun ağ modelinin hazırlanması için hız, basınç ve sıcaklık gibi değişkenlerdeki değişimin daha büyük olduğu bölgelerde ince bir ağ yapısı oluşturulmalıdır. Bu nedenle, model binası çevresindeki hacim bölgeleri için en iyi ağ yapısı kullanılmış ve diğer bölgelerde daha seyrek bir ağ tercih edilmiştir. Sayısal çalışmada kullanılan çatısız model, 1.055 156 adet eleman içermektedir. Hesaplamaların yakınsaması, süreklilik ve momentum denklemleri için yakınsama ölçeği  $10^{-6}$ ' dan küçük olduğunda, enerji denklemi için ise  $10^{-7}$ 'den küçük olduğunda durdurulmuştur. Simülasyon için üç boyutlu piramitten oluşan ızgara yapısı kullanılmıştır (Şekil 9).

Bununla birlikte, sayısal model deneysel ortam koşulları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.  $0.193 \text{ m/s}$  akış hızı durumu için model etrafında üç boyutlu detaylı akış ya-



**Şekil 9.** Sayısal Modellemede Kullanılan Ağ Yapısı



pıları elde edilmiştir. Su kanalının girişinde ortalama türbülans yoğunluğu oldukça düşük olduğundan (% 0.5), sayısal çalışmada kanal girişinde düzgün hız profili,  $u_\infty$  uygulanmıştır. Çalışmada, bina çevresinde simetri ve duvar sınır koşulları kullanılmıştır. Kanal akışı için ise çıkış akışı sınır koşulundan yararlanılmıştır. Ayrıca, sayısal çalışmada binaların akışta türbülansa neden olması nedeniyle, aerodinamikte sıklıkla kullanılan k- $\epsilon$  türbülans modeli kullanılırken akış alanının kanal için laminar olduğu varsayılmıştır.

Geometri boyunca akış ve ısı transferi, kütle, momentum ve enerjinin korunumu yasalarından üretilen ve bir gövde kuvveti olmaksızın zamandan bağımsız olarak türetilen ve aşağıdaki gibi ifade edilen kısmi diferansiyel denklemler çözülerek elde edilmiştir ([9], [10], [11]).

Süreklilik denklemi

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum denklemi

x momentum denklemi

$$\rho \left( u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

y momentum denklemi

$$\rho \left( u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

z momentum denklemi

$$\rho \left( u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4)$$

Enerji denklemi

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \left( \frac{k}{\rho c_p} \right) \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

Bu denklemlerde,  $\rho$  yoğunluğu,  $\mu$  dinamik viskoziteyi,  $p$  basıncı,  $k$  ısı iletkenliği,  $T$  sıcaklığı,  $c_p$  özgül ısıyı ve  $u$ ,  $v$ ,  $w$  sırasıyla  $x$ ,  $y$  ve  $z$  yönlerindeki hızları göstermektedir.

Kullanılan standart k- $\epsilon$  türbülans modelinde, türbülans kinetik enerji,  $\epsilon$  yayılma oranı ve  $\phi$  viskoz dağılım terimidir.



Daimi akış türbülans kinetik enerji denklemi

$$\frac{\partial(\rho uk')}{\partial x} + \frac{\partial(\rho vk')}{\partial y} + \frac{\partial(\rho wk')}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k'}{\partial z} \right) + \mu_t \phi - \rho \varepsilon \quad (6)$$

Türbülans viskozitesi

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k'^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

Türbülans kinetik enerji

$$k' = \frac{1}{2} \left( \overline{u^2} + \overline{v^2} + \overline{w^2} \right) \quad (8)$$

Viskoz dağılım terimi

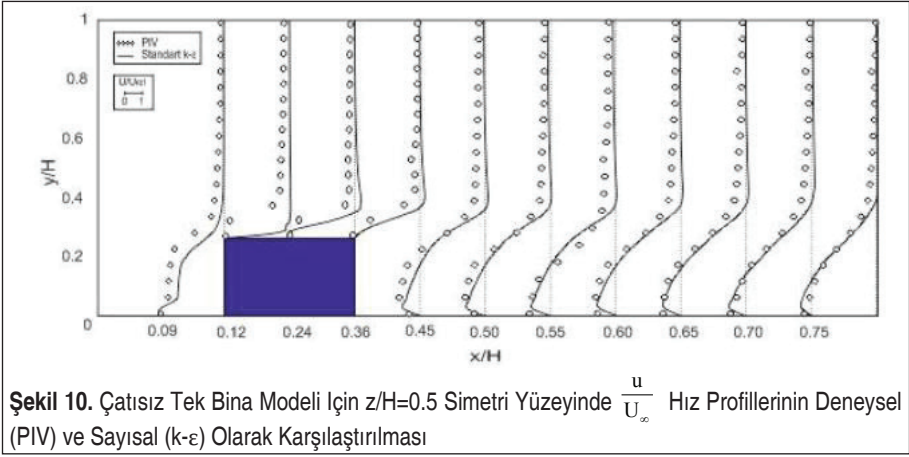
$$\phi = 2\mu \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \mu \left[ \left( \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Türbülans kinetik enerji kaybolma denklemi

$$\frac{\partial(\rho u \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w \varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right) + C_{1\varepsilon} \mu_t \frac{\varepsilon}{k'} \phi - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k'} \quad (10)$$

Model sabitleri  $C_\mu$ ,  $C_{1\varepsilon}$ ,  $C_{2\varepsilon}$ ,  $\sigma_k$  ve  $\sigma_\varepsilon$  standart k-ε türbülans modeli için kullanılan varsayılan değerlerdir ([4], [6], [8]). Bu sabitlerin değerlerine, çok çeşitli türbülanslı akışlar için çok sayıda veri uydurma yinelemesi ile ulaşılmıştır. Bu sabitler şu şekildedir;  $C_\mu=0.09$ ,  $C_{1\varepsilon}=1.44$ ,  $C_{2\varepsilon}=1.92$ ,  $\sigma_k=1$  ve  $\sigma_\varepsilon=1.3$ .

Şekil 10'da çatısız bina modeli için binanın üst, ön ve özellikle de arka bölgelerinde oluşan akış yapısını araştırmak amacıyla zaman ortalama  $\langle u \rangle$  hız bileşeninin kanal yüksekliğine bağlı olarak değişimi boyutsuz şekilde deneysel ve sayısal olarak karşılaştırılmıştır. Grafik, tek bina modeli için  $z/H=0.5$  simetri yüzeyi için çizilmiştir. Grafik analiz edildiğinde, bazı bölgelerde deneysel ve sayısal sonuçlar arasında % 3'lük bir fark olduğu saptanmıştır. Bu farklılığın sebebinin özellikle bina üst kısımlarında akışın değişkenlik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bina arka bölgelerinde ayrılmış akış bölgeleri oluşmakta ve ayrılmış akış,  $z/H=0.45$  profilinden başlayarak  $z/H=0.75$  profiline kadar azalarak devam etmektedir. Bununla birlikte, sayısal ve deneysel sonuçlar arasında en fazla % 3'e kadar görülen sapmanın deneysel sonuçların kabul edilebilir doğrulukta, makul ve uygun olduğunu düşündürmektedir. Ayrıca, grafik üzerinde gösterilen bina skalasız çizilmiştir.



**Şekil 10.** Çatısız Tek Bina Modeli İçin  $z/H=0.5$  Simetri Yüzeyinde  $\frac{u}{U_\infty}$  Hız Profillerinin Deneysel (PIV) ve Sayısal ( $k-\epsilon$ ) Olarak Karşılaştırılması

## 6. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada, bina merkezleri arası mesafenin 7.5 cm ve 10 cm olduğu 5cmx5cmx5cm boyutlarında çapraz olarak yerleştirilmiş üç adet çatısız bina modelinin etrafındaki akış yapıları deneysel olarak Parçacık Görüntülemeli Hız tekniği (PIV) kullanılarak incelenmiştir. Ayrıca, çatısız 5cmx5cmx5cm boyutlarındaki bir binanın etrafındaki akış analizi sayısal olarak üç boyutlu, daimi,  $k-\epsilon$  türbülans modeli ile ANSYS Fluent bilgisayar programı kullanılarak yapılmış ve ulaşılan sayısal sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Böylece, aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

1. Her iki bina arası mesafe için binaların yan kısımlarında ve bina arkalarındaki girdaplar incelendiğinde birbirlerine simetrik bir yapıda olmadıkları görülmektedir. Bu duruma, gelen akışın binaların köşe ve kenarlarından ayrılmasıyla yapıların önünde ve yan duvarları boyunca ve arka kısmında oluşan ters akış bölgeleri sebep olmaktadır. Bu durumun sonucu olarak da girdapların olduğu kısımlarda vektör yoğunluklarında azalmalar görülmektedir ki bu sonuç da buralarda akış hızının azaldığını kanıtlamaktadır. Bu nedenle, binalar konumlandırılırken etraflarındaki rüzgar akışı dikkate alınarak tasarlanmalıdır.
2. Ters ve serbest akış bölgelerini ayıran karışım bölgesinde türbülans büyüklükleri artış göstermektedir. Bu durum, binalara etkiyen rüzgar kuvvetlerini artırmaktadır.
3. Binalar arası mesafenin 10 cm olduğu durumda, 7.5 cm olduğu duruma göre jet akış alanı genişlemiş ve buna bağlı olarak bina arka bölgelerinde farklı girdap yapıları oluşmuştur. Ayrıca arka kısma yerleştirilmiş binanın yan bölgelerinde oluşan girdap yapıları küçülerek değişime uğramıştır.
4. Binaların akış ortamında bir arada bulunmaları, binalar etrafındaki akış yapılarının



birbirleriyle karşılıklı etkileşim içerisinde bulunmalarına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, binalar arası mesafeye bağlı olarak binalar arasında oluşan jet akış nedeniyle özellikle binalara yakın bölgelerde hızlar yükselmiş ve binalar arkasındaki girdap büyüklükleri değişiklik göstermiştir.

5. Binalar arası mesafenin 7.5 cm olduğu durumla kıyaslandığında, mesafenin 10 cm olması durumunda jet akış bölgesinin oldukça genişlediği ve çapraz olarak yerleştirilen bina çevresindeki ayrılmış akış bölgesinin küçüldüğü görülmektedir.

6. Deneysel ve sayısal sonuçlar arasında en fazla % 3' lük bir fark olduğu saptanmıştır. Bu farklılığa da bina üst kısımlarında oluşan girdaplar nedeniyle akışın değişkenlik göstermesinin sebep olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, bina arka bölgelerinde ayrılmış akış bölgelerinin oluştuğu ve ayrılmış akışın  $z/H= 0.45$  profilinden başlayarak  $z/H= 0.75$  profiline kadar azalarak devam ettiği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, binalar etrafında oluşan akış yapısına ve binalar üzerine etkiyen rüzgar kuvvetlerine, gelen rüzgarın yönü ve şiddetinin yanı sıra binaların yerleşim şeklinin ve binalar arası mesafenin etkili olduğu görülmektedir.

## SEMBOLLER

$\psi$	Akım çizgisi
$V$	Vektörel hız dağılımı
$H$	Bina yüksekliği, [cm]
$X$	Girdap uzunluğu, [cm]
$S_a$	Bina ön durma noktası
$S_n$	Durma noktası
$F$	Girdap
$k$	Isı iletim katsayısı, [W/ m K]
$k'$	Türbülans kinetik enerjisi, [ $m^2/ s^2$ ]
$u', v', w'$	x,y,z yönlerindeki hız bileşenleri, [m/s]
$u'', v'', w''$	x, y, z yönlerindeki dalgalanan hız bileşenleri, [m/s]
$x, y, z$	Kartezyen koordinatlar, [m]
$\epsilon$	Türbülans dağılım oranı, [ $m^2 /s^3$ ]
$\mu$	Dinamik viskozite, [kg/s m]
$\mu_t$	Türbülans viskozitesi, [kg/s m]
$\rho$	Yoğunluk, [ $kg/m^3$ ]
$\phi$	Viskoz dağılım terimi, [ $m^2 /s^3$ ]
$\nu$	Kinematik viskozite, [ $m^2 /s$ ]



## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (CÜBAP) birimi tarafından M-531 proje numarası ile desteklenmiştir.

## KAYNAKÇA

1. **Gölbaşı, D., Buyruk, E., Şahin, B., Karabulut, K.** 2017. “Değişik Bina Modelleri için Akış Alanlarının Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi”, Tesisat Mühendisliği, cilt 6, sayı 162 s. 32-47. <https://www.mmo.org.tr/istanbul-merkez/tesisat-muhendisligi-dergisi/eylul-ekim-2017-sayi-161>.
2. **Tutar, M., Oguz, G.** 2002. “Large Eddy Simulation of Wind Flow Around Parallel Buildings with Varying Configurations, Fluid Dynamics Research”, cilt 31, sayı 5-6, s. 289-315. [https://doi.org/10.1016/S0169-5983\(02\)00127-2](https://doi.org/10.1016/S0169-5983(02)00127-2).
3. **Blocken, B., Dezsö, G., Beeck, J., Carmeliet, J.** 2009. “The Mutual Influence of Two Buildings on Their Wind Driven Rain Exposure and Comments on the Obstruction Factor”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, cilt 97, sayı 5-6, s. 180-196. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2009.06.003>.
4. **Gölbaşı, D., Buyruk, E., Karabulut, K.** 2018. “Experimental and Numerical Research of the Flow Features Around the Building Pairs with Different Types”, Cumhuriyet Science Journal, cilt 39, sayı 4, s. 1089-1106. <https://doi.org/10.17776/csj.393304>.
5. **Gölbaşı, D., Buyruk, E., Şahin, B., Karabulut, K., Kılınc, F.** 2017. “Bina Yüksekliği Değişiminin Akış Yapıları Üzerindeki Etkisinin Deneysel ve Sayısal Olarak İncelenmesi”, ULİBTK’17 21. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 13-16 Eylül 2017, Çorum. [https://www.researchgate.net/publication/327051437\\_Bina\\_Yuksekligi\\_Degisiminin\\_Akis\\_Yapilari\\_Uzerindeki\\_Etkisinin\\_Deneysel\\_ve\\_Sayisal\\_Olarak\\_Incelenmesi](https://www.researchgate.net/publication/327051437_Bina_Yuksekligi_Degisiminin_Akis_Yapilari_Uzerindeki_Etkisinin_Deneysel_ve_Sayisal_Olarak_Incelenmesi).
6. **Daemei, A. B., Eghbali, S. R.** 2019. “Study on Aerodynamic Shape Optimization of Tall Buildings Using Architectural Modifications In Order to Reduce Wake Region”, Wind and Structures, cilt 29, sayı 2, s. 139-147. <http://dx.doi.org/10.12989/was.2019.29.2.139>.
7. **Wheatley, C., Baumann, M., Gutierrez, S. M.** 2020. “Aerodynamic Mitigation of Origami-Inspired Building Structures Subjected to Hurricane Wind Loads”, Proc. SPIE 11377, Behavior and Mechanics of Multifunctional Materials IX, 1137708, 18 Mayıs 2020, Online. <https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/11377/1137708/Aerodynamic-mitigation-of-origami-inspired-building-structures-subjected-to-hurricane/10.1117/12.2558972.short?SSO=1>.
8. **Yan, B., Li, Q. S.** 2016. “Wind Tunnel Study of Interference Effects Between Twin Super-Tall Buildings with Aerodynamic Modifications”, Journal of Wind Engine-



ering and Industrial Aerodynamics, cilt 156, s. 129-145. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2016.08.001>.

9. **Gölbası, D.** 2015. “Yerleşim Alanları İçerisinde Farklı Geometrilere Sahip Yapılar Üzerinde Isı Transferi ve Akış Yapılarının Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp>.
10. **Gousseau, P., Blocken, B., Stathopoulos, T., Heijst, G. J. F.** 2011. “CFD Simulation of Near Field Pollutant Dispersion on A High Resolution Grid: A Case Study by Les and Rans for A Building Group in Downtown Montreal”, Atmospheric Environment, cilt 45, sayı 2, s. 428-438. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.09.065>.
11. FLUENT, 2003. “Fluent 6.1 User’s Guide”, Fluent Inc., Lebanon. <http://jullio.pe.kr/fluent6.1/help/pdf/ug/fl61ug.pdf>.



# Performans Ölçütlerine Dayalı Bakım Yönetim Modülünün İş Süreçleri Yönetimi Yaklaşımı ile Modellenmesi

Leyla Özgür Polat<sup>1</sup>, Aşkıner Güngör<sup>2\*</sup>

## ÖZ

Günümüzde işletmelerin ürünlerine uygun fiyat vermeleri, ürün teslimatlarını zamanında yapmaları ve kalite konusunda güvenilir olmaları rekabet düzeylerinin temel göstergeleri arasındadır. Rekabetçiliğin sağlanmasında ve korunmasında bakım önemli bir destek sürecidir. Üretim ve hizmet sektöründe bakım faaliyetleri, fiziksel altyapıyı hazır ve nitelikli tutarak üretim faaliyetlerin devamlılığını sağlanması, maliyetlerin indirilmesi ve müşteri potansiyelinin korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle bakım süreçlerinin yönetim, planlama ve izleme aşamalarının bilişim teknolojileriyle desteklenerek etkin bir şekilde yürütülmesi gerekmektedir.

Çalışma kapsamında iş süreç yönetimi (İSY) ve iş süreç yeniden mühendisliği (İSYM) gereği mevcut durumda manuel olarak yürütülen süreçlerin bilgi teknolojileri ile desteklenerek yeniden tasarlanması sonucu kurumsal kaynak planlama (KKP) sistemlerine entegre çalışacak bakım modüllerine yönelik tasarım gereksinimleri ortaya konulmuştur. Bakım faaliyetlerinin verimliliğini arttırmak ve izlemeyi kolaylaştırmak amacıyla, iş modellemesi IBM Business Modeler programı ve iş süreç yönetimi simgeleri kullanılarak, sistem performans göstergelerini de dikkate alan bir bakım yönetim sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sunulan sistem önerisinin, bakım süreçlerini, dijitalleşme kapsamında bilişim teknolojilerine dayalı geliştirmek ve kurumsal kaynak yönetimi yazılımlarına entegre etmek amacıyla sahip başta imalat sektörü olmak üzere birçok kuruluş için katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** İş Süreç Yönetimi Simgeleri (İSYS), Bakım Planlaması, Kurumsal Kaynak Planlama (KKP), İş Süreç Yönetimi (İSY), İş Süreç Yeniden Mühendisliği (İSYM), Dijitalleşme.

## Modelling Performance Criteria Based Maintenance Management Module by Using Business Process Management Approach

### ABSTRACT

Today, offering the best price, meeting delivery due dates and being trustworthy for quality are among competitiveness' indicators for companies. To keep competitiveness at a high level, maintenance serves as an important support process. Maintenance activities in manufacturing and service sector, by keeping the physical capacity ready and reliable, play an important role in sustaining production, reducing cost, and keeping customers happy. Therefore, maintenance operations like management, planning and monitoring need to be carried out efficiently with the support of information technologies.

In this study, design requirements are described for maintenance modules integrated in enterprise resource planning (ERP) systems as a result of the redesign of the processes that are currently carried out manually using business process management (BPM) and business process reengineering (BPR) supported by information technologies. To increase the efficiency of the maintenance activities and to facilitate monitoring, maintenance management system is designed considering system performance indicators by using the IBM Business Modeler program and business process management notation (BPMN). The proposed system will contribute to many companies primarily in manufacturing whose aim is to improve maintenance processes in the context of digitalization and integrating them into enterprise resource planning software.

**Keywords:** Business Process Management Notation (BPMN), Maintenance Planning, Enterprise Resource Planning (ERP), Business Process Management (BPM), Business Process Reengineering (BPR), Digitalization

Geliş/Received : 01.04.2021

Kabul/Accepted : 11.05.2021

<sup>1</sup> Pamukkale Üniversitesi, Rektörlük, Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, Denizli  
lozgur@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0002-5143-359X

<sup>2</sup> Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Denizli  
askiner@pau.edu.tr, ORCID: 0000-0002-1223-6796





## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

In today's competitive market environment, it has become an obligation for companies to continuously improve their processes to protect their customer potential. One of the most important reasons for this obligation is that technological developments progress too quickly to be followed. In addition, because of the development of technology and the increase of mechanization, companies must take the necessary measures to maintain the healthy working conditions of their production hardware. In this way, high-cost machines and equipment will be able to operate at the desired level of safety and reliability, while maintaining the production quality. For this reason, maintenance activities are important in terms of the efficiency and sustainability of the processes. Therefore, maintenance processes should be defined and analyzed, and especially manual processes should be digitalized by supporting them with information technologies. In the digitalization process, the process should be improved by adopting the business process management (BPM) approach and applying the steps in the process management cycle.

Maintenance activities are carried out to ensure that machines and equipment perform their desired functions in the best and expected level. It covers activities such as repair and lubrication. Generally, maintenance activities are divided into two main groups as unscheduled / breakdown and scheduled maintenance. Scheduled maintenance activities are also divided into three groups. These are periodic, preventive, and predictive maintenance. Unscheduled maintenance is a maintenance technique performed when the machine or equipment becomes unusable because of breakdown. No action is taken before the breakdown occurs and the machine or equipment continues to be operated until the breakdown occurs. This method is widely applied in plants and workshops that have many spares and produce with inexpensive machines. Planned maintenance is a maintenance repair process carried out within the specified plans and programs using measurement techniques, statistical information, and experience. The purpose of planned maintenance is to increase efficiency by reducing machine downtime, to extend the economic life of machines, to ensure compliance with the prepared programs and to reduce maintenance costs. Periodic maintenance is a type of planned maintenance performed within specified periods. Periods are determined in time intervals determined either by the vendor or by the company itself. Preventive maintenance is a planned maintenance carried out with activities such as testing, measuring, adjusting, part replacement to increase the life of the equipment and ensure their optimum use. Predictive maintenance is a planned maintenance method to repair the previously determined breakdown by monitoring the performance of the machines with measurements made during production and deciding when maintenance will be required. To provide convenience and effectiveness in the management of maintenance activities, operations can be done in a shorter and more accurate manner by establishing a maintenance management system.

### Objectives/Research Purpose

In this study, design requirements are described for maintenance modules integrated in enterprise resource planning (ERP) systems as a result of redesigning processes that are currently carried out manually using business process management and business process reengineering supported by information technologies. To increase the efficiency of the maintenance activities and to facilitate monitoring, maintenance management system is designed considering system performance indicators.

### Methods/Methodology

We use the IBM Business Modeler program and business process management notation (BPMN) to accomplish the aim of the study. Business process management is a method that handles and models the work done within the organization with a holistic approach. It aims to define and document corporate processes and to make improvements automatically. BPM, which is also related to financial issues, enables cost and performance follow-up of processes by defining performance criteria. BPM systems aim to model processes as fast, flexible, and affordable. In this way, it ensures that the processes are carried out in a controlled manner, the standardization of the functioning of

the institution and the creation of a structure that can identify the shortcomings of the processes. Processes such as defining, modeling, analyzing, monitoring, and controlling processes in BPM are the most important item of the development phase. The benefits of BPM to the business include controlling processes, performance tracking, process improvement processes, facilitating communication between information technologies and the business world, enabling efficiency and competence tracking, and standardizing the works. BPM strategies include process improvement and business process reengineering (BPR). Process improvement approach is followed by defining the problems and solving them step by step without questioning the current process structure. The process is continuously improved with the logic of one step at a time and one correction at a time. In BPR, the approach of re-designing the process as a result of radical changes by questioning the fundamental assumptions and principles of the current process is taken into consideration. Within the framework of these approaches, maintenance processes can be defined, discovered, analyzed, redesigned, implemented and controlled.

### **Results /Findings**

The findings of the systems analysis have been presented as a maintenance management system considering mostly used system performance indicators.

### **Discussion and Conclusions**

The system proposed can be adapted to different ERP systems or encoded as a general module as it is designed in accordance with the generalized structure. At the same time, analysis processes can be carried out by collecting the necessary measurement data with the help of tools such as IoT and sensors by obtaining support from manufacturing execution system (MES). In future studies, all processes in production can be examined in detail and business modeling and reporting to include interactions with maintenance.



## 1. GİRİŞ

Günümüzün rekabet koşullarında ayakta kalabilmek ve müşteri potansiyelini korumak adına firmalar kendilerini sürekli iyileştirmek zorundadırlar. Bu zorunluluğun en önemli nedenleri arasında üretim tesislerindeki teknolojik gelişmelerin takip edilemeyecek kadar hızlı bir şekilde ilerleme göstermesi de bulunmaktadır. Ayrıca teknolojinin gelişmesi ve makineleşmenin artması neticesinde, firmalar bu makinelerin sağlıklı çalışma durumlarını devam ettirebilmek için gerekli önlemleri almak zorundadır. Böylece, üretim kalitesi korunup maliyeti yüksek makine ve teçhizatların istenilen güvenlik ve güvenilirlik seviyesinde çalışmaları sağlanabilecektir. Bu nedenle bakım faaliyetleri süreçlerin verimlilikleri ve sürdürülebilirlikleri bakımından önem arz etmektedir. Dolayısı ile de bakım süreçlerinin tanımlanarak analiz edilmesi ve özellikle de manuel olarak yürütülen süreçlerin bilgi teknolojileri ile desteklenerek dijitalleştirilmesi gerekmektedir. Dijitalleştirme sürecinde de öncelikle iş süreç yönetimi yaklaşımının benimsenerek süreç döngüsündeki adımların uygulanması ile sürecin iyileştirilmesi gerekmektedir.

İş Süreç Yönetimi (BPM: Business Process Management), kurum içinde yapılan işleri bütünsel bir yaklaşımla ele alıp modelleyen bir yöntemdir. BPM, kurum süreçlerinin ortaya çıkarılması, belgelendirilmesi ve iyileştirmelerin otomatik yapılmasını hedefler. Finansal konularla da ilişkili olan BPM performans kriterlerinin ortaya çıkarılmasıyla süreçlerin maliyet ve performans takip işlemlerinin yapılabilmesini sağlamaktadır [1, 2]. BPM sistemleri hızlı, esnek, uygun fiyatlı ve işletme dostu süreçlerin modellenmesini hedeflemektedir. Böylece süreçlerin kontrollü yürütülmesi, kurum işleyişinin standartlaştırılması ve süreçlerin eksikliklerini tespit edebilecek bir yapının oluşturulmasını sağlar [1]. BPM’de süreçlerin ortaya çıkarılması, analiz edilerek modellenmesi ve kontrol edilmesi gibi işlemler geliştirme zamanının en önemli kalemidir. BPM’nin işletmeye sunduğu faydalar arasında süreçlerin kontrol altına alınması, süreç iyileştirme işlemlerine kolaylık sağlaması, performans takibi, bilgi teknolojileri ile iş dünyası arasında iletişimi kolaylaştırması, etkinlik ve yeterlilik takibine olanak sağlaması ve işletme bünyesinde yapılan işlerin standartlaştırılması yer almaktadır. BPM stratejileri arasında sürekli süreç iyileştirme ve iş süreci yeniden mühendisliği (BPR: Business Process Reengineering) yer almaktadır. Sürekli süreç iyileştirmede mevcut süreç yapısı sorgulanmadan sorunları tanımlama, adım adım çözüme ve her seferinde bir adım ve bir seferde bir düzeltme mantığı ile sürekli süreç iyileştirme yaklaşımı izlenmektedir. BPR’de ise mevcut sürecin temel varsayım ve ilkeleri sorgulanarak radikal değişiklikler sonucunda sürecin yeni baştan tasarlanması yaklaşımı dikkate alınmaktadır. Bu yaklaşımlar çerçevesinde bakım faaliyetlerinin tanımlanması, süreçlerin görselleştirilmesi, analiz edilmesi, yeniden tasarlanması ve uygulanarak kontrol işlemlerinin yapılması gerekmektedir.

Bakım faaliyetleri, makine ve teçhizatın istenen fonksiyonlarının en iyi şekilde ve

beklenen düzeyde gerçekleştirilebilmesi için yapılan tamir, onarım, yağlama vb. faaliyetlerin gerçekleştirilmesini kapsar. Genel olarak bakım faaliyetleri plansız/arızı ve planlı bakım olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır [3]. Plansız/arızı bakım, makine veya teçhizatın belirgin bir arızası veya duruşu gerçekleştiğinde yapılan bakım tekniğidir. Temelde “bozulana kadar çalıştırın” mantığıyla arıza meydana gelene kadar makine veya teçhizat çalıştırılmaya devam edilir. Bu yöntem; yaygın olarak, çok sayıda yedekleri bulunan ve fazla pahalı olmayan makinelerle üretim yapan tesislerde ve atölyelerde uygulanmaktadır [4]. Planlı bakım ise ölçüm tekniklerinden, istatistiki bilgilerden ve deneyimden faydalanılarak belirlenmiş plan ve programlar dahilinde yapılan bakım onarım işlemidir. Planlı bakımın amacı, makine duruşlarını azaltarak verimliliği arttırmak, makinelerin ekonomik ömürlerini uzatmak, ve bakım masraflarını azaltmaktır [3]. Planlı bakım faaliyetleri, kendi arasında üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar periyodik/koruyucu, önleyici ve kestirimci bakımdır. Periyodik/koruyucu bakım, makine veya ekipmanların, belirli bir program dahilinde, arıza oluşma şartı aranmadan planlı ve koordineli olarak ekipmanların kullanılabilirlik süresini arttırmaya yönelik yapılan bir bakım çeşididir [5]. Periyotlar ya satıcı firmanın ya da firmanın geçmiş bakım kayıtları ve çalışma şartlarını değerlendirmesiyle belirlediği zaman aralıklarıyla belirlenir. Önleyici bakım, ekipmanların ömrünü arttırarak optimum kullanımlarını sağlamak amacıyla test, ölçme, ayarlama, parça değiştirme gibi faaliyetlerle gerçekleştirilen planlı bir bakımdır [6]. Kestirimci bakım ise, üretim sırasında yapılan ölçümlerle makinelerin performansının izlenmesiyle ne zaman bakıma ihtiyaç olacağına karar verilerek oluşabilecek arızayı onarmak için yapılan planlı bir bakım yöntemidir [7].

İşletme yapısı, maliyet unsurları, üretim kayıpları ve işgücü planları dikkate alınarak uygun bakım planları oluşturulmalıdır. Her bakım kendince farklı alanlarda bir sonraki bakıma göre daha uygun ve karlı olabilmektedir. Örneğin; çok fazla yedeği olan ve yedek makine sayesinde kolaylıkla arıza etkisi elimine edilebilen küçük işletmelerde arıza bakım tercih edilebilir. Çünkü diğer bakım faaliyetleri daha fazla maliyet unsuru içermekte ve daha fazla zaman gerektirmektedir. Ancak üretimde kritik bir rol oynayan ve yatırım maliyeti yüksek ayrıca; arıza zamanları tespit edilebilecek düzeyde ise burada arızı bakım yerine kestirimci, periyodik/koruyucu veya önleyici bakım faaliyetlerinden en uygun olanı tercih edilmelidir. Günümüz işletmelerinde karma bakım faaliyetleri uygulamasının yapıldığı görülmektedir. Yani üretim sistemi doğru bir şekilde incelenerek en uygun bakım faaliyeti en uygun makineye uygulanmaktadır.

Bakım faaliyetlerinin yönetimi, planlanması ve izlenmesinde kolaylık ve etkinlik sağlamak amacıyla bakım yönetim sistemi oluşturulup, işlemler daha kısa sürede ve daha doğru bir şekilde yapılabilir. Piyasada bunun için hazırlanmış farklı özellik ve nitelikte karar destek sistemleri ve kurumsal kaynak planlama (ERP: Enterprise Resource Planning) yazılımları mevcuttur. ERP yazılımlarında yer alan bakım yönetimi modülleri, genel olarak üretim esnasında kullanılan makine ve teçhizatın durmasına



neden olabilecek beklenmedik arızaları en alt düzeye indirmek için sistematik olarak bakım planlarını oluşturarak, gerekli planlı ve önleyici bakımların organize edilmesini sağlar. Bu yazılımlar sayesinde maliyetlerin takibi sağlanabilmekte ve gereken durumlarda müdahale edilerek maliyetleri azaltabilmek için yapılması gerekenler belirlenip uygulanabilmektedir. Sonuç itibarıyla bakıma gereken önem verilip plan ve programların firmaya uygun bir yazılım ile desteklenmesiyle üretim akışı, kalite, zaman, maliyet ve verimlilik üzerinde oluşabilecek olumsuz etkilerin azaltılması ve fayda maksimizasyonu sağlanabilmektedir.

Bakım planlaması faaliyetlerine ilişkin ilgili literatür incelendiğinde çalışmaların genellikle operasyonel seviyedeki problemlerle ilgilendiği görülmektedir. Örneğin Gürbüz ve Cömert [8], çalışmalarında uçakların fabrika seviyesindeki bakım planlaması için tam sayılı doğrusal programlama kullanarak bir bakım planlama modeli oluşturmuştur. Karaoğlu ve arkadaşları [9] tam zamanında üretim sistemi uygulamalarında bakım politikalarının önemini incelemiştir. Görener [10], bulanık ortam koşullarında bakım stratejisi seçimi için çok kriterli seçim yöntemlerinin faydalanmıştır. Uzun ve Özdoğan [6] ekipmanların optimum bakım zamanlarının belirlenmesi ve bakım maliyetlerine dayanarak bakım modelinin seçimi için güvenilirlik analizine dayalı önleyici bakım planlama çalışması gerçekleştirmiştir. Anagün ve Soy [11] ve Baraçlı ve arkadaşları [12] çalışmalarında Toplam Verimli Bakım (TVB) geçiş sürecinde başarılı olmayı hedefleyen firmalar için yol haritaları belirlemiştir. Bakım yönetimi konusunda gerçekleştirilen detaylı literatür taramaları [13], Garg ve Deshmukh [14] ve Parida ve arkadaşları [15] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Şahin [16] bilgisayar destekli bakım yönetim sistemlerinin tasarlanmasına yönelik olarak çalışmalar gerçekleştirmiş ve havacılık sektöründe uygulama yapmıştır. Er [7] bilgisayar destekli bakım yönetim sistemlerini ve bu sistemlerin Türkiye'deki uygulama düzeyini incelemiştir. Türkan ve Esnaf [17] bilgisayar destekli bakım yönetim çatısının oluşturulmasına yönelik bir uygulama gerçekleştirmiştir. Akasah ve arkadaşları [18] çalışmalarında IDEF0 diyagramlarını kullanarak okullar için bakım yönetim sistemi modeli tasarımı gerçekleştirmiştir. Qing [19], trenlere bakım hizmeti veren bir firma için bakım yönetim bilgi sistemi tasarımı gerçekleştirmiştir. Bilgisayar destekli bakım yönetimi sistemlerine yönelik detaylı literatür taraması Kans [20] tarafından yapılan çalışmada yer almaktadır. Literatürde sadece Pai ve Rane [21] tarafından gerçekleştirilen çalışmada, ERP yazılımına entegre bakım modülü tasarımını nükleer santral özelinde gerçekleştirmiştir. Castillo-Martinez ve arkadaşları [22] ISO standartlarına dayalı bakım yönetim sistemlerinin temel unsurlarını tanımlayan kavramsal şemalar ile yazılım geliştirmişler ve gerçek bir uygulama üzerinden yazılımı test etme işlemini gerçekleştirmişlerdir.

Bu çalışmada iş süreç yönetimi ve iş süreç yeniden mühendisliği gereği mevcut durumda manuel olarak yürütülen bakım süreçlerinin bilgi teknolojileri ile desteklene-

rek yeniden tasarlanması sonucu kalite, zaman ve maliyet kayıplarının engellenmesi amaçlanmıştır. Aynı zamanda bakıma gereken önemin verilmesi ve bakım faaliyetleri sonuçlarının izlenebilmesini sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek adına bir ERP sistemi içerisinde bakım yönetim sistemi tasarlanarak iş modellemesi gerçekleştirilmiştir. Kullanıcı ve yazılımcı arasındaki iletişimi sağlamak amacıyla bakım sistemi analizlerinin ardından ara yüz tasarımında olması gereken veri girişleri, verilerin kullanım amaçları ve kullanıcı ile yazılımcının gerçekleştirmesi gereken işlemler açıklanmaya çalışılmıştır. Bakım yönetimi programında yer alacak modüller ve iş modellemeleri ayrıntılı olarak gösterilmiş ve ardından kullanıcıya yardımcı olmak ve kullanıcının gerekli bilgileri elde etmesi için raporlama modülünün iş modellemesi ile sistem tarafından hesaplanacak performans göstergeleri açıklanmıştır. Performans göstergeleri seçiminde arızalar arası geçen ortalama süre, maliyet ve planlama ile bakım başarı oranları dikkate alınmıştır. Bu performans göstergeleri sayesinde bakım planlama ekibi gerçekleştirdikleri durumlar ile yapılması gereken iyileştirmeler hakkında bilgi sahibi olacak ve sonuçta etkin bir bakımın yapılabilmesine olanak sağlanacaktır. Dolayısı ile çalışmada sunulan sistem önerisinin, bakım süreçlerini, dijitalleşme kapsamında bilişim teknolojilerine dayalı geliştirmek ve kurumsal kaynak yönetimi yazılımlarına entegre etmek amacıyla başta imalat sektörü olmak üzere birçok kuruluş için katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda literatürden farklı olarak sektöre özgü bir modül tasarımı yapmak yerine genel bir modül tasarımı ile bakım yönetim sisteminin hem yazılımcı hem de kullanıcı bakış açısı ile nasıl modellenmesi gerektiği ve hangi verilerin kullanılarak bakım hakkında genel ve performansa dayalı sonuçların elde edilebileceği ile ilgili bilgiler sunulmuştur.

Çalışmanın ikinci bölümünde, bakım yönetim sistemi açıklanmıştır. Üçüncü bölümde bakım planlama modülüne ilişkin kullanıcı ve yazılımcı tarafından yapılması gereken işlem ve süreçlerin iş modeli ve performans kriterleri tanımlanmıştır. Çalışmanın son bölümünde ise sonuç ve gelecek çalışmalara yer verilmiştir.

## 2. BAKIM YÖNETİM SİSTEMİ

Bakım yönetim sisteminin görevi, bakımın daha düzenli, hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılması, maliyet, işçi performansı ve görsel dokümantasyon gibi verilere kolaylıkla ulaşılması, bakım çalışmalarının etkin yapılabilmesi amacıyla kayıt tutma ve raporlama işlerini ilgili birime elektronik ortam vasıtasıyla iletimini sağlamaktır.

Bakım yönetim sistemi, kısaca tüm bilgi ve analizleri kayıt altına alan yazılımların etkin olarak kullanılarak sistem verimliliğini ve takip edilebilirliği arttırmaktadır. Buna göre bakım yönetim sisteminde veri yönetimi, kontrol ve izleme, planlama ile maliyet bileşenlerinin yer alması gerekmektedir. Bakım veri yönetimi, sistemi oluşturacak hiyerarşik yapının oluşturulması için gerekli bilgileri içerir. Yani sistem tanımları, konular, ekipmanlar, parçalar gibi makine ve ekipmanların hangi birimde olduğu,

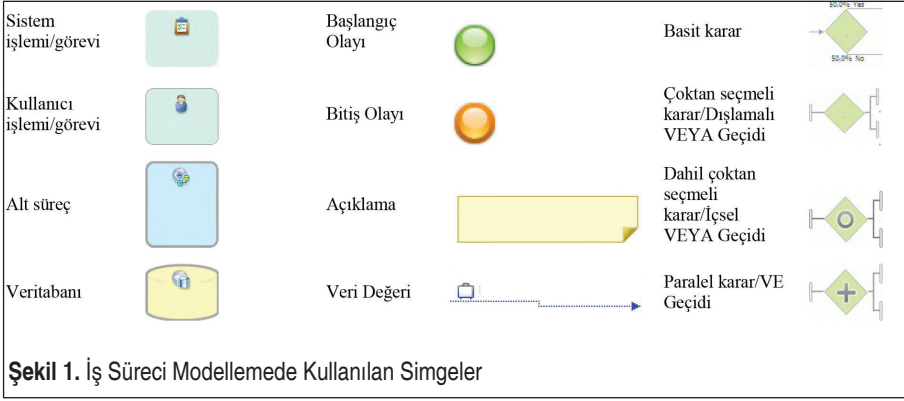


tanımlamalarının yapıldığı ve yedek parça listelerinin yer aldığı bölümdür. Bakım kontrol izleme, arıza takibinin yapıldığı ve gerekli görülen işlerin yapılması için talimatların verildiği, ekipman duruş süreleri ile kullanılan malzeme takibi, geçmişe ait bakım kontrol izleme raporlarının yer aldığı bölümdür. Bakım kontrol izleme sayesinde fiili ve planlanan işlerin karşılaştırılması yapılmaktadır. Bakım planlama, hangi bakımın yapılacağı, bakım içeriklerinin ne olduğu, bakımın ne zaman yapılacağı ve kim tarafından yapılacağına dair bilgilerin yer aldığı bölümdür. Son olarak bakım maliyetleri ise iş plan maliyeti, bakım türü maliyeti, işçilik ve malzeme maliyetleri gibi maliyet kalemlerinin yer aldığı kısımdır. Tüm bu verileri içeren yazılımların kullanılması sonucunda işletmedeki tüm birim, makine ve yedek parçalar düzenli olarak kayıt altına alınabilecek, bakım planları etkin bir şekilde hazırlanarak incelenebilecek, bakım personelinin kontrol ve denetimi etkili olarak yapılabilecek ve geçmiş verilerle maliyetler kolaylıkla izlenerek verimlilik artışı sağlanabilecektir.

Bakım yönetim sisteminin kullanımı ile bakım maliyetlerinde %15-%30, yedek parça stok maliyetlerinde % 15-20, duruş sürelerinde en az %25 azalma, arıza sayısında %40 - %80 arasında azalma, bakım bilgilerini izleme ve planlama yapabilme gibi faydalar yer almaktadır [23]. Bakım yönetim sistemi, ERP yazılımları içerisinde kullanılan ayrı bir modül olarak veya tek başına bakım üzerine yazılmış programlarla da yürütülebilmektedir. ERP, planlanan hedefler doğrultusunda, tedarik, üretim ve dağıtım kaynaklarının etkin ve verimli şekilde planlanması, koordine ve kontrol edilmesi fonksiyonlarını içeren entegre yazılım paketidir [24]. Bünyesinde farklı modüller barındırarak işletme içi koordinasyonunu, yönetim ve planlama faaliyetlerini en etkin şekilde yürütür. Birçok ERP yazılımlarında bakım faaliyetlerinin yürütüldüğü bakım yönetim modülleri yer almaktadır. Bakım yönetiminin gerçekleştirebilmesi için gerekli makine parçaları tanımları ve bu parçaların zamanında temin edilmesi, maliyet kalemlerinin belirlenmesi ile personel planlaması işlemlerinin verimli ve etkin olarak gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla bakım yönetimi modülü ERP yazılımlarında yer alan malzeme yönetimi, maliyet muhasebesi yönetimi, insan kaynakları yönetimi ve stok yönetimi modülleriyle de yakından ilişkilidir.

### 3. BAKIM YÖNETİMİ PROGRAMININ MODELLENMESİ

Çalışma kapsamında bakım yönetimi programı tasarımı, bir yazılım firması ile birlikte çalışılarak bakım yönetim modülü içeren ERP programlarının incelenmesi ile gerçekleştirildikten sonra IBM Business Process Manager programı kullanılarak İş Süreç Yönetimi Simgeleri (BPMN: Business Process Management Notation) mantığıyla modellenmiştir. Buna göre bakım yönetimi programında olması gereken modüller; Bakım Bilgileri Tanımlama, Bakım Detayı Tanımlama, Bakım Makine İlişkilendirme, Bakım İş Emri Tanımlama, Bakım İş Emri Kapama ve Raporlama olarak tanımlanmıştır. Ancak burada uygun veri giriş ve kontroller oluşturularak sadece bakım ile ilgili alanların iş modellemesi gerçekleştirilmiştir.

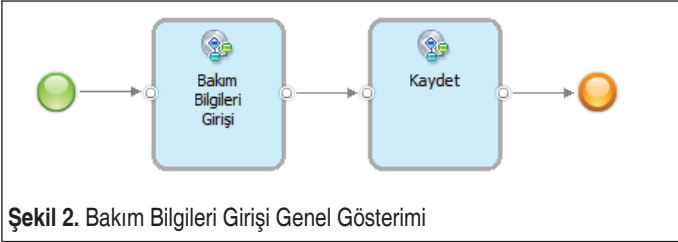


Buna göre sırasıyla modüllerin iş modelleri ve model tanımları açıklanmıştır. Ayrıca ara yüzde kullanıcı tarafından girilen veya sistem tarafından kayıtlı verilerden kullanıcının açılan listeden (comboboxtan) seçmesi gereken veri tanımlamaları ve açıklamaları yer almaktadır. Çalışma kapsamında kullanılan iş süreci modelleme simgelerinin bazıları kısaca Şekil 1’de gösterilmiştir.

### 3.1 Bakım Bilgileri Giriş Ekranı

Bakım Bilgileri Giriş Ekranı, Şekil 2’de gösterildiği gibi Bakım Bilgileri Girişi ve Kayıt işlemlerini içermektedir.

Bakım Bilgileri Giriş Ekranı, bakımın tanım tablosunda olması gereken bakım kodu-



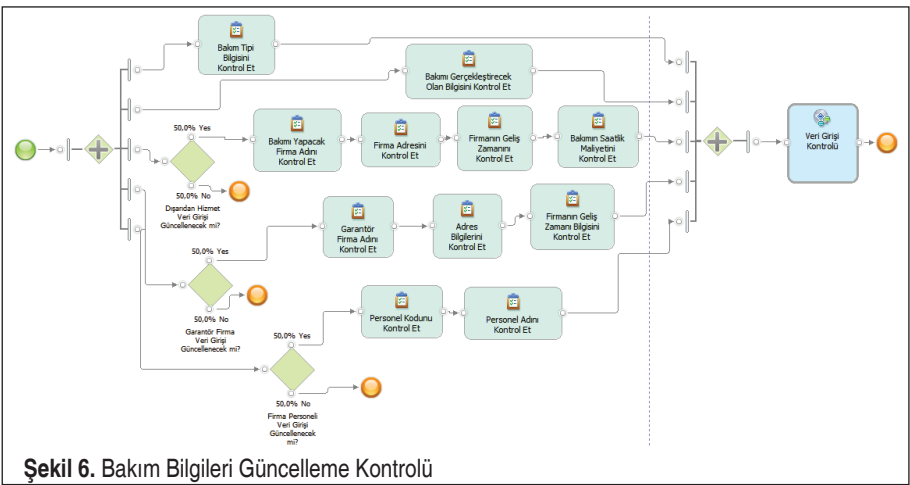
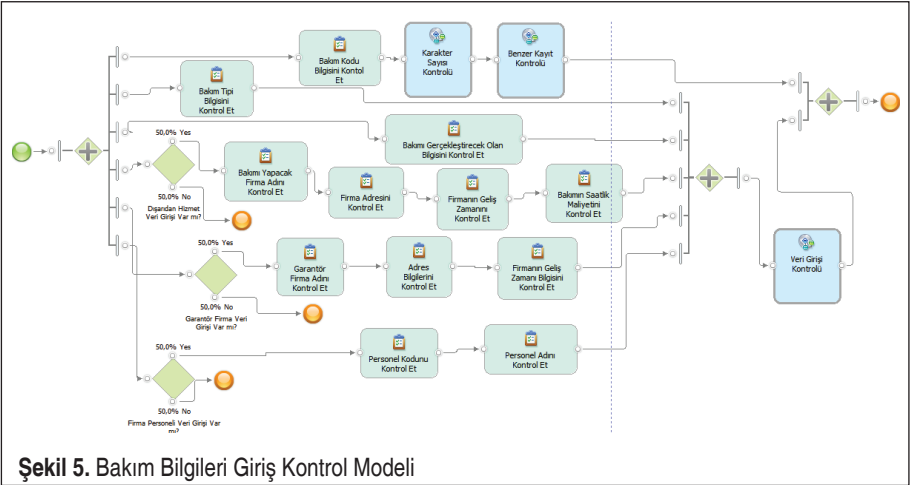
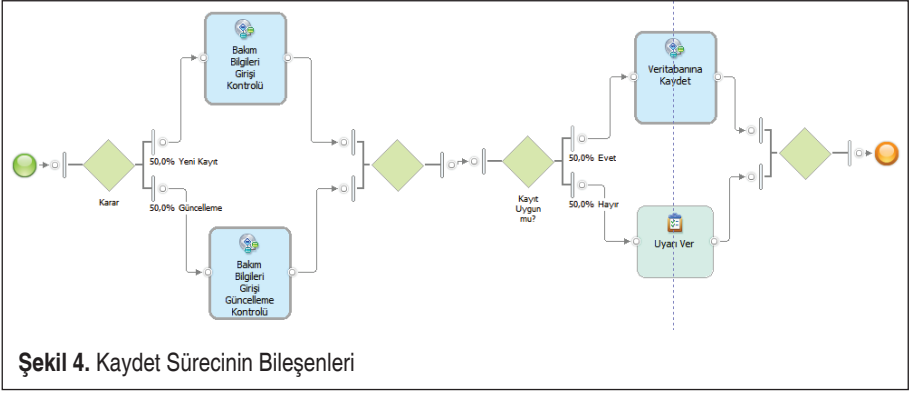
nun, tipinin ve bakımı gerçekleştirecek olana göre gerekli veri girişlerinin yapıldığı ekrandır. Bakım Bilgileri Girişi iş modelinde veri girişlerinin yer aldığı model Şekil 3’te yer almaktadır.

Şekil 3’te yer alan veri giriş alanları Tablo 1’de yer almaktadır.

Şekil 4’te Bakım Bilgileri Girişi Kontrolü ve Bakım Bilgileri Girişi Güncelleme Kontrolü sonrası, kaydın uygunluğu çerçevesinde veri tabanına kayıt işlemi ya da hatalı girişlere yönelik uyarı verme durumları gerçekleşecektir. Kaydet sürecinin genel gösterimi diğer modüllerdeki giriş ve güncelleme işlemlerinde de benzerdir.









mekte ve her bir seçime uygun veri girişlerinin yapılıp yapılmadığına dair veri giriş kontrolleri yapılmaktadır.

Gerekli kontrollerin ardından veriler istenen şekilde girilmediyse ya da veri girişleri eksikse sistem tarafından kullanıcıya gerekli uyarılar yapılmaktadır. Bakım Bilgileri Girişi Güncelleme Kontrolünde kodun güncellenmesine izin verilmediğinden kod dışındaki Bakım Bilgileri Giriş Kontrolünde yer alan diğer kontroller gerçekleştirilir. Şekil 6'da Bakım Bilgileri Güncelleme Kontrolü yer almaktadır.

Tüm kontrollerin tamamlanmasının ardından kontrol sonuçları olumlu ise veri tabanına kayıt işlemi gerçekleştirilir. Sonuç olarak bakım bilgileri giriş modülü tamamlanmış olmaktadır. Bakım bilgileri güncelleme ekranında bakım kodu dışındaki veriler güncellenebilmektedir.

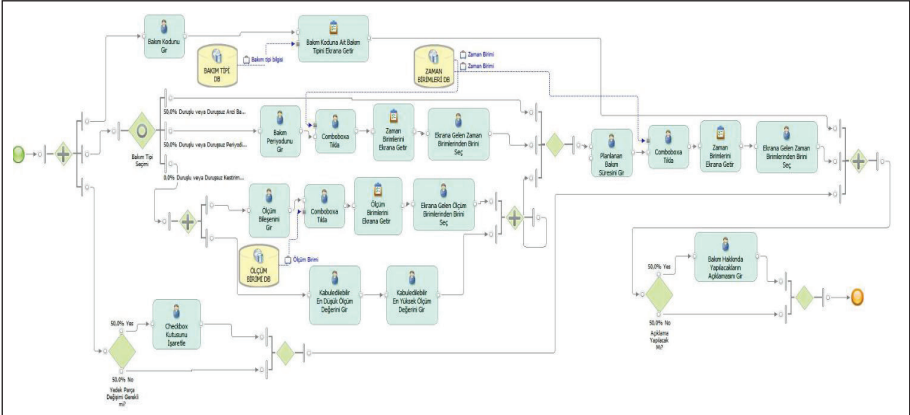
### 3.2 Bakım Detayı Giriş Ekranı

Bakım Detayı Giriş Ekranı, bakım kodunun seçimi sonrası sistem tarafından bakım tipi bilgisinin getirildiği, ardından da bakımın içeriğinin açıklandığı yedek parça değişiminin yapılıp yapılmadığı ve bakım tipine uygun gerekli verilerin girildiği ekrandır. Veri girişi yapılacak tanımlamalar ve açıklamaları Tablo 2'de yer almaktadır.

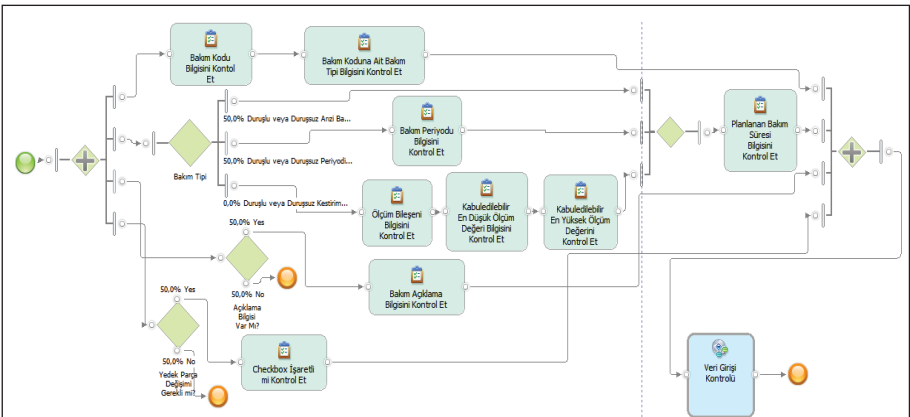
**Tablo 2.** Bakım Detayı Girişindeki Veri Giriş Alanları

Veri Giriş Alanı	Açıklama
Yedek Parça Değişimi	Yedek Parça Değişimi: Bakım esnasında makine ürün ağacında yer alan yedek parçaların değişimi söz konusu ise kullanıcı bu bölümü işaretlemelidir.
Planlanan Bakım Süresi	Planlanan Bakım Süresi: Bakımın tahmini olarak ne kadar sürede gerçekleştirileceği bilgisini içermektedir. Bu sayede planlanan bakım süresi ile gerçekleşen bakım süresinin karşılaştırılmasına olanak sağlanacaktır.
Bakım Periyodu	Bakım Periyodu: Bakım tipi duruşlu veya duruşsuz periyodik bakım olarak seçilmişse bakımın ne kadar süre aralıklarla tekrarlanması gerektiği konusunda bilginin elde edilmesini sağlayacaktır.
Ölçüm Durumu	Ölçüm Durumu: Bakım tipinin duruşlu veya duruşsuz kestirimci bakım olması durumunda makine özelliklerine uygun ölçüm durumları belirlenir. Ölçüm durumuna uygun ölçüm değeri en yüksek ve en düşük ölçüm değerleri arasında olmalıdır. Aksi takdirde makine bakıma alınmalı ve kontrolleri gerçekleştirilmelidir.
Bakım İçeriği Açıklama	Bakım İçeriği Açıklama: Bakım esnasında yapılacak işlemler ve önceliklerinin yanı sıra kullanılacak malzemeler ve personele bildirilmesi gerekli önemli bilgiler yer alabilmektedir.

Bakım Detayı Giriş Ekranı; Bakım Detayı Giriş ve Kayıt işlemlerini içermektedir. Bakım Detayı Girişi modeli Şekil 7’de gösterilmektedir. Bakım detayı girişinde öncelikle bakım kodu girilir ardından sistem tarafından koda ait bakım tipi bilgisi ekrana gelir. Bakım tiplerine göre farklı veri girişleri yapılmaktadır. Ancak planlanan bakım süresi her bakım tipi için ortak olarak doldurulması gerekli bir alandır. Yani hangi bakım tipi olursa olsun her biri için planlanan bakım süresinin doldurulması zorunlu bir alandır. Eğer bakım tipi olarak duruşlu veya duruşsuz periyodik bakım seçilmiş ise bakım periyodu bilgisi doldurulması zorunlu bir alandır. Bakım tipi olarak duruşlu veya duruşsuz kestirimci bakım seçilmiş ise ölçüm durumu, en düşük ve en yüksek ölçüm değerleri sisteme girilmelidir. Bakım esnasında yedek parça değişimi gerçekleşecek ise yedek parça değişimi kutucuğu doldurulmalıdır. Son olarak da bakım içeriği



Şekil 7. Bakım Detayı Girişi Modeli



Şekil 8. Bakım Detayı Giriş Kontrolü Ekranı



**Tablo 3.** Makine Bakım İlişkilendirme Girişindeki Veri Giriş Alanları

Veri Giriş Alanı	Açıklama
Makine Kodu	Bakımın ilişkilendirileceği kayıtlı makine bilgilerinin kayıtlı olduğu koddur.
Makine Adı	Makinenin tanımını açıklayan isimdir.
Önem Derecesi	Makinenin firma tarafından önem derecesini göstermektedir. 1 değeri makinenin kritik bir makine olduğunu ve yüksek öneme sahip olduğunu, 2 orta derecede önemli olduğunu, 3 ise düşük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.
Makine Fotoğrafı	Makine koduna ait makinenin şekilsel gösterimini sağlayan fotoğraftır.
Yedek Parça Kodu	Makine koduna ait yedek parça bilgilerinin yer aldığı kod dizinidir.
Yedek Parça Tanımı:	Yedek parçanın ne olduğunu açıklayan tanımdır.
Alternatifi	Yedek parçanın yerine kullanılacak alternatif yedek parça kodudur.
Üretici Firma Adı ve Adresi	Yedek parça tedarikini gerçekleştirildiği firma adı ve adres bilgilerini içermektedir.
Tedarik süresi	Yedek parçanın siparişinin ardından ne kadar sürede firmaya gönderildiğini belirten süredir.
Önem Derecesi	Makinedeki yedek parçanın makine için önem derecesini belirtmektedir. Makine önem derecesindeki gibi bir ölçek kullanılmaktadır.
Kullanılan Adet	Makinede yer alan yedek parça miktarını göstermektedir. Bu bilgi ürün ağacı veri tabanında yer almaktadır.
Maliyeti	Yedek parça maliyetini göstermektedir.
Yedek Parça Fotoğrafı	Yedek parçanın şekilsel gösterimidir.

Makine Bakım İlişkilendirme Giriş Ekranı; Makine Bakım İlişkilendirme Girişi ve Makine Bakım İlişkilendirme Kayıt alt süreçlerini içermektedir. Makine Bakım İlişkilendirme Giriş ekranında ilişkilendirilecek bakım kodu seçimiyle sistem tarafından bakım koduna ait bakım tipi bilgisinin gelmesinin ardından ilişkilendirilecek makine kodu girilir. Sistem, veri tabanında kayıtlı makine koduna ait makine adını, önem derecesi ve koda ait makine fotoğrafını ekrana getirir. Bakım Detay Ekranında yedek parça değişimi onay kutusu (checkbox) işaretlenmiş ise makine koduna ait yedek parça kodlarından değişimi yapılacak yedek parça kodu seçilir. Sistem, koda ait yedek parça tanımı, alternatifi, üretici firma adı ve adresi, tedarik süresi, önem derecesi, kullanılan adet miktarını, maliyetini ve son olarak da yedek parça fotoğrafı ekrana getirir. Birden fazla yedek parça değişimi söz konusu ise ekle butonuna tıklanarak aynı işlemler tekrarlanacaktır. Ardından bakım koduna ait bakım detay ekranında yer alan bakım koduna ait detay bilgiler ekrana gelir. Eğer belirlenmiş bu bakım tipine göre









### 3.4 İş Emri Giriş Ekranı

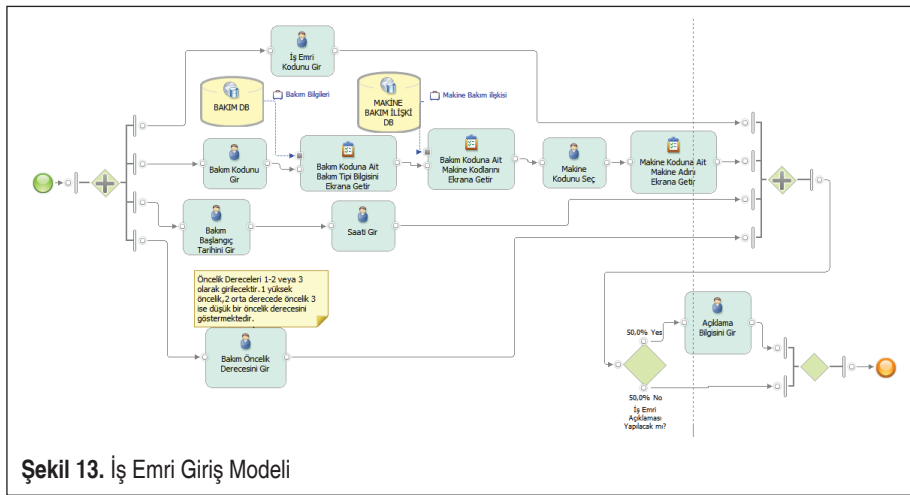
Planlanan bakımın gerçekleştirilmesini sağlamak amacıyla makine bakım ilişkilendirilmenin ardından iş emirlerinin oluşturulması gerekmektedir. Bu ekran iş emirlerinin tanımlandığı ve emirlerin verildiği ekrandır. Veri girişlerindeki tanımlamalar ve açıklamaları Tablo 4'te yer almaktadır.

İş Emri Giriş Ekranı; İş Emri Girişi ve İş Emri Kayıt alt süreçlerini içermektedir. Şekil 13'te iş emri giriş modeli yer almaktadır. Modele göre öncelikle iş emri kod girişi yapılır. Bakım emri verilecek bakım kodu girildikten sonra sistem bakım tipini ve bakıma ait makine kodlarını getirir, kullanıcı bakıma ait makine kodunu girer. Ardından bakım başlangıç tarihi ve saati bilgileri girilir. Bakım öncelik derecesi de girildikten sonra istenirse iş emri hakkında açıklama yapılabilmektedir.

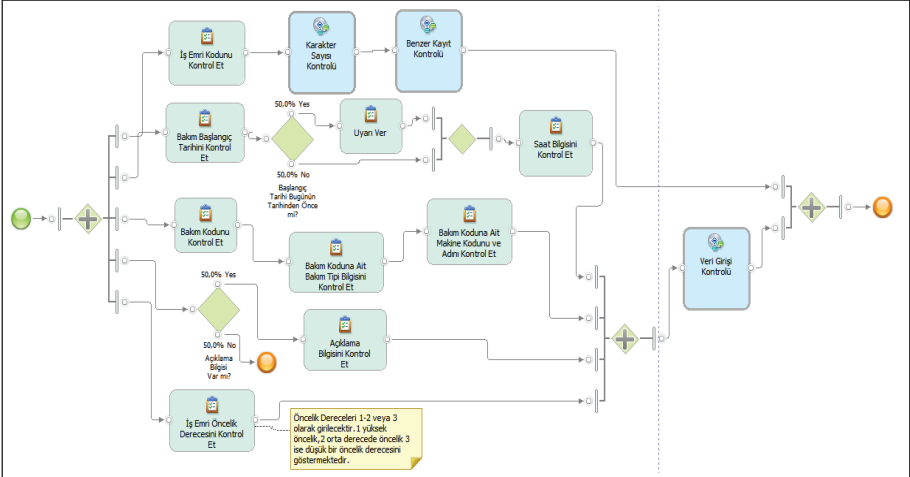
Kayıt aşaması da diğer kayıtlarda yer alan kontrol ve veri tabanı kayıt işlemlerini içermektedir.

**Tablo 4.** İş Emri Girişindeki Veri Giriş Alanları

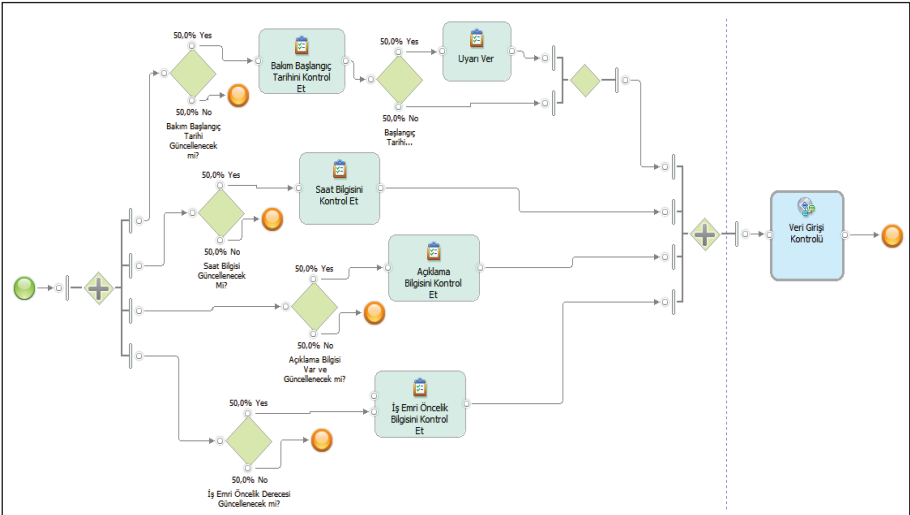
Veri Giriş Alanı	Açıklama
İş Emri Kodu	Bakım emrinin verilmesinde bilgilerin depolandığı koddur. Bu kod ile iş emri yürütülecek ve en sonunda da bakımın tamamlanmasının ardından iş emri kapanacaktır.
Bakım Başlangıç Tarihi	Bakımın iş emrinin verildiği yani bakımın gerçekleşme tarihidir.
Bakım Saati	Bakımın başlama saatidir.
Bakım Öncelik Derecesi	Bakımın kritikliğine göre verilen öncelik derecesidir. Öncelik skalası makine ve yedek parça öncelik skalasıyla aynı şeklindedir.



**Şekil 13.** İş Emri Giriş Modeli



Şekil 14. İş Emri Giriş Kontrolü



Şekil 15. İş Emri Güncelleme Kontrolü

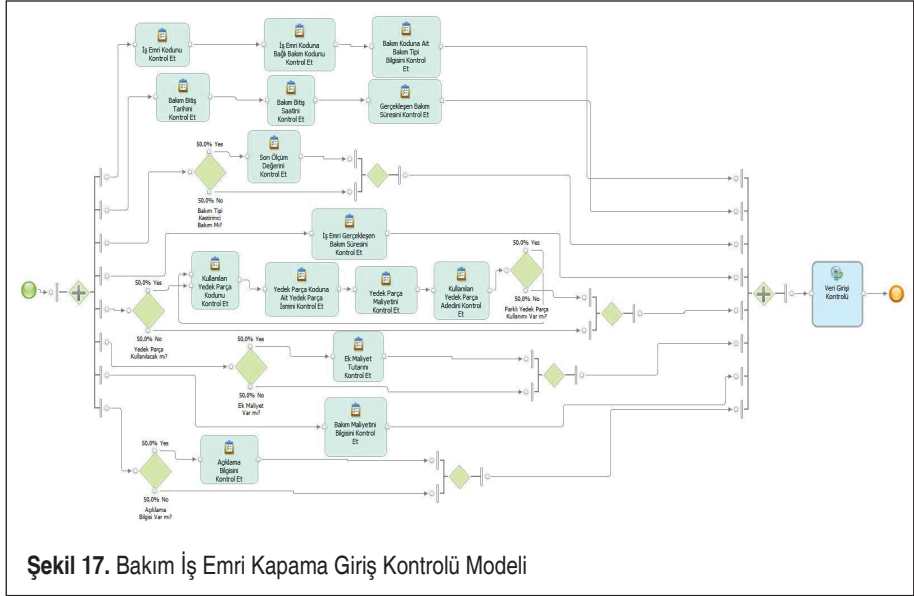
Şekil 14'te İş Emri Giriş Kontrolü modeli yer almaktadır. Burada kodun karakter sayısı ve benzer kayıt kontrollerinin yanı sıra veri girişi olması gereken ya da gerekmediği halde veri girişi yapılan kısımların boş bırakılıp bırakılmadığı kontrol edilir. Şekil 15'te ise İş Emri Güncelleme Kontrolü gösterilmektedir. Burada da kod dışında güncellenebilecek alanlardaki veri girişlerinin yapılıp yapılmadığına dair kontroller gerçekleştirilir. Kontrollerin ardından herhangi bir hata gözlenmez ise veri tabanına ekli alt model devreye girecektir.

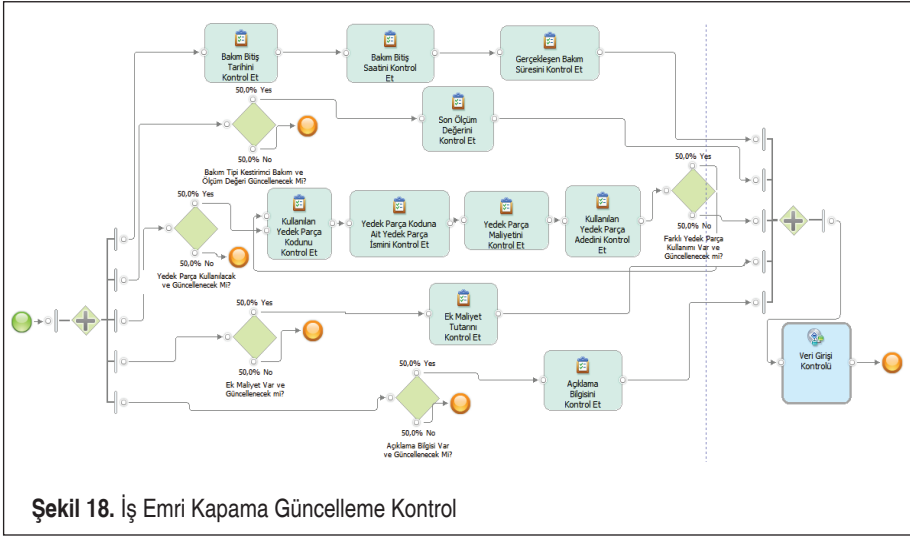


İş Emri Kapama Giriş Ekranı; Bakım İş emri Kapama Girişi ve İş Emri Kapama Kayıt alt süreçlerini içermektedir. Şekil 16’da bakım iş emri kapama giriş modeli yer almaktadır. Buna göre kişi ara yüze bakım iş emri kodu, bakım bitiş tarihi, bakım bitiş saati, gerçekleşen bakım süresi bilgilerinin girişinin ardından yedek parça kullanımı var ise yedek parça kodunu ve kullanılan yedek parça adetini girmelidir. Birden fazla yedek parça kullanımı varsa ekle butonuna tıklayarak benzer işlemler tekrarlanır. Bakım tipi kestirimci ise son ölçüm değeri bilgisi girilmelidir. Eğer ek maliyet var ise kullanıcı ek maliyet tutarını ve açıklama yapmak istiyorsa son olarak da açıklama bilgisini girmelidir.

Sistem tarafından gerçekleştirilen işlemler ise; iş emri koduna ait bakım kodu ve bakım tipi bilgilerinin ekrana getirilmesi, yedek parça kullanımı var ise yedek parça koduna ait yedek parça adı ve maliyetini ekrana getirmektir. İş emri başlangıç tarihi ile iş emri kapama bitiş tarihi arasındaki süreyi saat cinsinden hesaplayarak iş emri gerçekleşen bakım süresini göstermektedir. Bu da iş emirleri planlamasındaki etkinliği gösterecektir. Bakım maliyeti hesabında sistem, bakımı gerçekleştirecek olan bilgisindeki maliyet değeri ile gerçekleşen bakım süresinin çarpımı ile yedek parça maliyeti çarpı yedek parça sayısı ve son olarak da ek maliyet var ise bu üç maliyet kalemini toplayarak bakım maliyeti bilgisini sunacaktır. Kayıt aşaması da diğer kayıtlarda yer alan kontrol ve veri tabanı kayıt işlemlerini içermektedir.

Şekil 17’de bakım iş emri kapama giriş kontrolü modeli yer almaktadır. Buradaki kontroller zorunlu alanların veya zorunlu olmayan alanların veri girişleri mevcut ise veri girişi yapıp yapılmadığına dairdir.





Şekil 18. İş Emri Kapama Güncelleme Kontrol

Şekil 18’de ise iş emri kapama giriş güncelleme kontrolü modelinin şekilsel gösterimi yer almaktadır. Son olarak veri tabanı kaydında da diğer kayıt süreçleriyle aynı işlemler gerçekleşmektedir.

### 3.6 Raporlama

Raporlama ekranı kullanıcı isteklerine göre istenen verilerin elde edilmesini ve bakım hakkında bilgi alınmasını sağlayan bir ara yüzdür. Buna göre kullanıcı 2 çeşit raporlama alabilmektedir. Bunlar makine bazında raporlama ve bakım tipi bazında raporlamadır. Rapor alımları belirli zaman dilimleri arasında olabileceği gibi tüm kayıtların seçimi şeklinde de gerçekleştirilebilmektedir. Bunların yanı sıra rapor ekranı, bakımın etkinliği ve faydalarının sayısal olarak ifade edilip anlaşılabilirliği ve ölçümünün sağlanabilmesi adına aşağıdaki denklemlerde yer alan performans göstergelerine de üretmektedir.

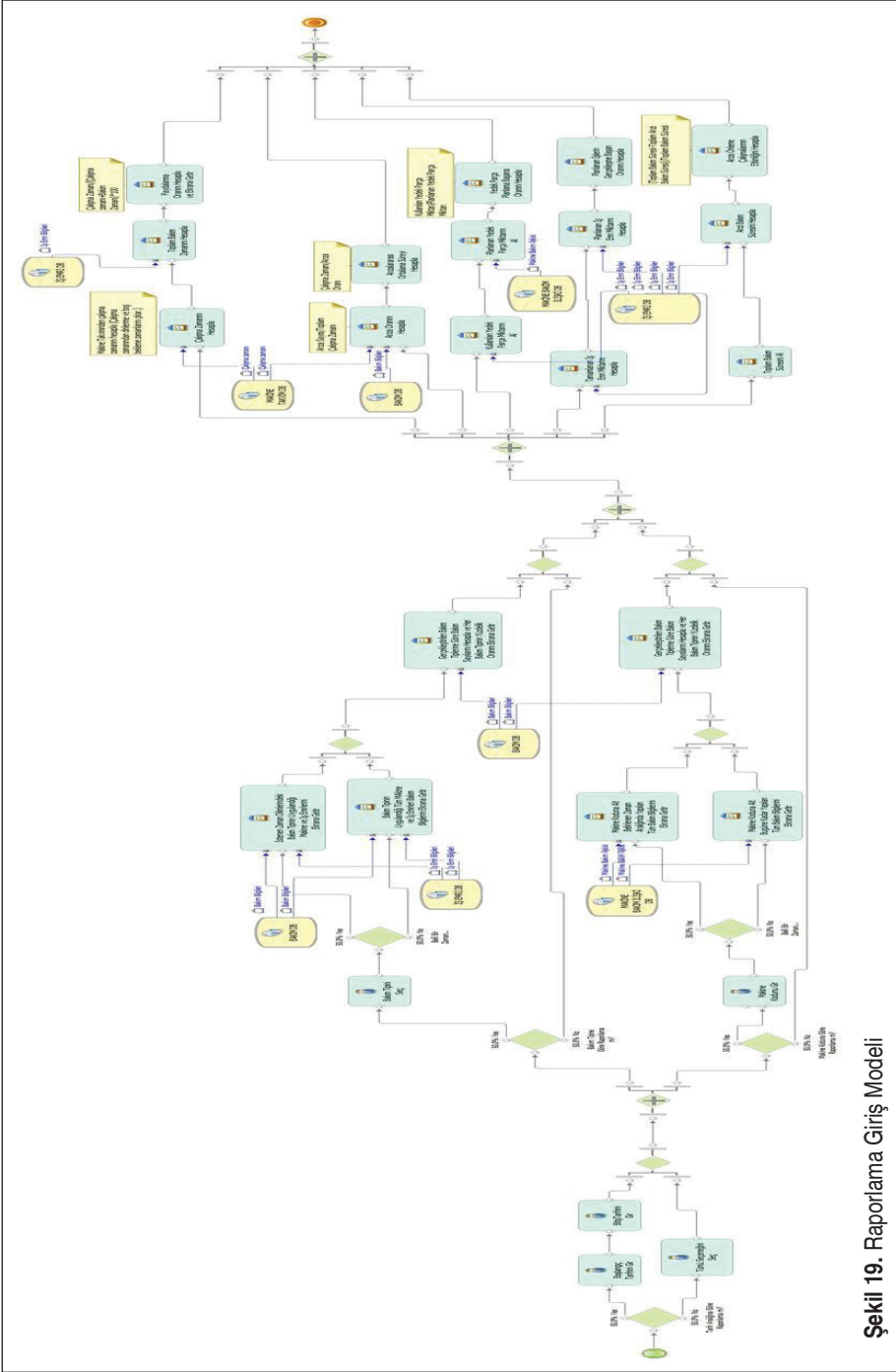
$$\text{Faydalanma Oranı} = \frac{\text{Çalışma Zamanı}}{\text{Çalışma Zamanı} + \text{Bakım Zamanı}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Arızalar Arası Ortalama Süre} = \frac{\text{Çalışma Zamanı}}{(\text{Arıza Sayısı}/\text{Toplam Çalışma Süresi})} \quad (2)$$

$$\text{Yedek Parça Planlama Başarı Oranı} = \frac{\text{Kullanılan Yedek Parça Miktarı}}{\text{Planlanan Yedek Parça Miktarı}} \quad (3)$$

$$\text{Planlanan İşlerin Gerçekleşme Başarı Oranı} = \frac{\text{Tamamlanan İş Emirleri Sayısı}}{\text{Planlanan İş Emri Sayısı}} \times 100 \quad (4)$$

$$\text{Arıza Önleme Çalışmalarının Etkinliği} = \frac{\text{Toplam Bakım Süresi} - \text{Toplam Arızalı Bakım Süresi}}{\text{Toplam Bakım Süresi}} \quad (5)$$



Şekil 19. Raporlama Giriş Modeli



Raporlama Ekranı; Raporlama Giriş ve Raporlama Sonuç Karar alt süreçlerini içermektedir. Buna göre kullanıcı raporlama giriş ekranından istediği verileri çekecek ardından da sonuçları nasıl kullanacağına karar verebilecektir. Raporlama Sonuç Kararı yazdır ve göster işlemlerinden oluşmaktadır. Yani kullanıcı sonuç kullanımı kararında ekran gösterimi şeklinde ya da yazıcı vasıtasıyla doküman halinde görebilmektedir. Şekil 19, raporlama giriş modelini ayrıntılı olarak göstermektedir.

Raporlama ekranı ile gerçekleştirilen tüm bakım tipleri ve makinelere göre gerçekleştirilen bakımlar ayrıntılı olarak raporlanmaktadır. Aynı zamanda genel olarak bakım tiplerine göre gerçekleşen bakım sayıları ile hangi makineye hangi tipteki kaç adet bakımın yapıldığı, bakım süreleri gibi sayısal veriler ve bakımlar hakkında performans gösterge sonuçları raporlanmaktadır. Örneğin, günde iki vardiya olarak haftanın 5 günü çalışmakta olan ve her vardiyanın 8 saatten oluştuğu bir işletmede her vardiya süresi içerisinde planlanmış 30 dakika duraklama süresi mevcuttur. Firmanın 2 haftalık izleme sürecinde toplam çalışma süresi 9600 dakika olup planlanan duraklamalar (mola ve kalıp değişimleri vb.) ile 750 dakika makine çalışmamaktadır. Makine çalışma süresi  $9600-750=8850$  dakikadır. Bu süre zarfında makine toplamda 150 dakika bakım işlemi görmüş olduğunda;

Performans göstergelerinden Faydalanma Oranı =  $(8850 / (8850+150)) \times 100=98.33$  yani makineden yaklaşık olarak %98'lik bir verim almaktayız. Benzer şekilde daha uzun dönemler dikkate alındığında 4000 dakika toplam bakım için zaman harcanması ve bunun 150 dakikasının arıza bakım olması durumunda Arıza Önleme Çalışmalarının Etkinliği =  $(4000-150) / 4000 =0,9625$ 'tir. Yani arızalara karşı alınan önlemlerin yeterliliği yaklaşık %96 oranındadır. Diğer performans gösterge hesaplamaları da yine sistem tarafından tüm verilerin sistemde kayıtlı olması neticesinde görsel ve hızlı bir şekilde raporlanarak çalışan ve yöneticilere planlama ve önlem alma çalışmalarının etkinliği ve maliyetleri hakkında bilgi sunabilecektir.

Tüm bu işlemlerin ardından artık bir bakım tanımı, detayı, makine ilişkisi, iş emri, iş emri kapama ve son olarak da raporlama işlemleri tamamlanmış olmaktadır. Sonuç olarak bakım süreci tamamlanmıştır.

#### 4. SONUÇ

Bir işletmenin amacı temelde, işletme olanaklarından en iyi biçimde yararlanılmak suretiyle maliyetlerin en aza indirilmesi ve sürekli müşteri tatmini için kaliteli mal ve hizmet üretmesidir. Bu amacın sağlanabilmesi, ancak çok iyi bir stratejik planlama ve iş süreç analizi yapılması ile mümkün olacaktır. Bu şartlar göz önüne alındığında, üretimi aksatmadan maliyetlerin düşürülmesi, bir işletme için kaçırılmayacak bir fırsat olmaktadır. Bakım Yönetimi Programları, kaçırılmayacak bu fırsatın etkin olarak değerlendirilmesinde bir araç olarak karşımıza çıkmaktadır. Sonuç itibarıyla günümüzün bilgi teknolojisinde hayatımızı kolaylaştırmak için daha fazla teknolo-

jik ve bilişim alanındaki gelişmelerden yararlanmak zorundayız. Bu nedenle kişilere bağlı manuel olarak yürütülen süreçlerin iş süreç yönetimi ve iş süreç yeniden tasarımı gereksinimleri dikkate alınarak bilgi teknolojileri kullanılarak dijital ortamlara taşınması gerekmektedir. Bu çalışma ile bakım faaliyetlerinin firma itibarı ve satışların devamlılığı açısından önemi üzerinde durularak farkındalığın oluşturulması ve gerek yazılım dünyası gerekse kullanıcı bakış açısı ile bakım faaliyetlerinin istenen düzeyde ve performansta gerçekleştirilmesi için iş süreç yönetiminden yararlanılarak yol gösterici olması ve uygulamaya katkı sağlaması amaçlanmıştır. Bir program veya otomasyon sisteminin oluşturulması öncesinde gerekli analiz ve araştırmaların gerçekleştirilmesi kaçınılmazdır. Bu sayede istenen yazılımlar istenen düzey ve nitelikte olabilecektir. Çalışma kapsamında bakım yönetim programının etkin bir şekilde yürütülmesinde kullanılacak ara yüzlerde olması gereken bilgilerin ve hangi amaçla bulunmaları gerektiği hakkında kullanıcı ve yazılımcının yapması gereken işlemler BPMN mantığıyla sistemin ana modelinden alt modellerin oluşturulmasıyla açıklanmıştır. Bakım modülü bir bütün olarak ele alınıp çeşitli varsayımlar altında modellenmeleri gerçekleştirilmiş ve raporlama alanıyla da bakım ve planlama performansları hakkında bilgilendirmeler tamamlanmıştır. Çalışma, bakım faaliyetlerinin belirli bir sektöre uygun olarak tasarlanması yerine genel yapıya uygun şekilde tasarlandığından farklı ERP sistemlerine adapte edilebilir ya da genel bir modül olarak kodlanabilir niteliktedir. Gelecek çalışmalarda sadece bakım modülü olarak değil üretimdeki tüm süreçler ayrıntılı olarak incelenerek sistem gereksinimleri, etkileşimleri ve etkileri ile birlikte iş modellenmesi ve raporlanması gerçekleştirilebilir. Aynı zamanda Üretim Yönetim Sistemlerinden (ÜYS) destek alınarak makine bakımı için gerekli ölçümlerin veri olarak sisteme girilmesi yerine IoT ve sensörler gibi araçlar yardımı ile toplanarak analiz işlemleri gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKÇA

1. KolayBPM 2021. BPM Nedir? <https://www.kolaybpm.com/neden-bpm/bpm-nedir/>. 18.01.2021
2. **Kir, H., Erdogan, N.** 2021. "A knowledge-intensive adaptive business process management framework". *Information Systems*, 95: p. 101639.
3. **Köksal, M.** 2015. Bakım Planlaması: Koruyucu Bakım – Kestirimci Bakım – Güvenilirlik. Vol. 2. İstanbul: Seçkin Yayıncılık.
4. **Gürsoy, M.Ü., Çolak, U.C., Gökçe, M.H., Ötleş, S.** 2019. "Endüstri için Kestirimci Bakım". *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 3(1): p. 56-66.
5. **Görener, A.** 2013. "Bakım stratejilerinin bulanık karar ortamında seçimi için WSA ve TOPSIS yöntemlerinin uygulanması". *Sigma: Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 31(3): p. 159-177.





6. **Uzun, A., Özdoğan, A.** 2011. "Güvenirlilik Analizlerine Dayalı Önleyici Bakım Planlanması". Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 20(1): p. 303-320.
7. **Er, E.** 2004. Bakım Yönetimi ve Bakım Yönetim Sistemlerinin Türkiye'de Uygulanma Düzeyi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
8. **Gürbüz, H., Cömert, E.** 2012. "Bakım planlama faaliyetlerinde tamsayılı doğrusal programlama ve bir uygulama". Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi, 4(7): p. 101-122.
9. **Karaoğlu, İ., Altıparmak, F., Dengiz, B.** 2007. "Tam Zamanında Üretim Sisteminde Bakım Politikalarının Etkisi". Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1): p. 181-189.
10. **Görener, A.** 2013. "Maintenance strategy selection by using WSA and TOPSIS methods under fuzzy decision environment". Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 31(2): p. 159-177.
11. **Anagün, A., Soy, E.** 1999. Toplam Verimli Bakıma Geçişte İlişki Diyagramı Kullanımı, in IV. Ulusal Ekonometri ve İstatistik Sempozyumu. p. 435-447.
12. **Baraçlı, H., Coşkun, S., Eser, A.** 2001. "Toplam Kalite Programlarının Başarılı Olarak Uygulanabilmesinde Toplam Üretken Bakım Tekniği". MMO Dergisi: p. 331-340.
13. **Sherwin, D.** 2000. "A review of overall models for maintenance management". Journal of quality in maintenance engineering, 6(3): p. 138-164.
14. **Garg, A., Deshmukh, S.** 2006. "Maintenance management: literature review and directions". Journal of quality in maintenance engineering.
15. **Parida, A., Kumar, U., Galar, D., Stenström, C.** 2015. "Performance measurement and management for maintenance: a literature review". Journal of Quality in Maintenance Engineering, 21(1): p. 2-33.
16. **Şahin, B.** 2003. Bilgisayar Destekli Bakım Yönetim Sistemleri ve Thy Bakım Yönetim Sistemi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. **Türkan, Y., Esnaf, Ş.** 2008. "Bakım yönetim çatısının oluşturulmasına yönelik bir uygulama". VIII. Ulusal Üretim Araştırmaları Sempozyumu Bildiriler Kitabı: p. 613-624.
18. **Akasah, Z., Amirudin, R., Alias, M.** 2010. "Maintenance management process model for school buildings: An application of IDEF0 modelling methodology". Australian Journal of Civil Engineering, 8(1): p. 1-12.
19. **Qing, B.** 2012. "Design and Implementation of Locomotive Maintenance Process Management Information System". Computer Knowledge and Technology, 23: p. 5508-5510.
20. **Kans, M.** 2007. A literature review of computerised maintenance management sup-

port, in 6th IMA International Conference on Modelling in Industrial Maintenance and Reliability. p. 96-101.

21. **Pai, A., Rane, S.** 2014. "Development and implementation of maintenance management module of enterprise resource planning in maintenance of power plant". International Journal of System Assurance Engineering and Management, 5(4): p. 534-543.
22. **Castillo-Martinez, A., Medina-Merodio, J.-A., Gutierrez-Martinez, J.-M., Fernández-Sanz, L.** 2021. "Proposal for a maintenance management system in industrial environments based on ISO 9001 and ISO 14001 standards". Computer Standards & Interfaces, 73: p. 103453.
23. Boysweb 2021. BOYSWEB Bakım ve Varlık Yönetim Sistemi. <http://www.yon.com.tr/boysweb.html>. 18.01.2021
24. **Karadede, A., Baykoç, Ö.** 2006. "Kurumsal Kaynak Planlama (KKK) Uygulaması Sonrası İşletmelerin Yaşadığı Sorunlar". Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21(1).

# PLM Kullanımı ile Ürün Geliştirme Sürecinde Etkin Bilgi Akışının Sağlanması

Gamze Sarı<sup>1,2\*</sup>, Sami Sayer<sup>3</sup>

## ÖZ

Bilgi sınırları olmayan bir kavramdır. Günümüzde teknolojinin hızlı ilerleyişi ile sürekli değişmekte ve gelişmektedir. Herhangi bir bilginin yorumlanması ile meydana gelen bilgi ise anlamlı bilgidir ve bilginin en gelişmiş halidir. Anlamlı bilgi içerisinde kişisel tecrübe ve deneyimleri de barındırmaktadır. Günümüzde artan rekabet koşulları ile iş organizasyonları için çevrelerinde meydana gelen değişikliklere hızlı adapte olma, yeni ürün geliştirme ve geliştirilen yeni ürünü rakiplerinden önce piyasaya sürerek pazarda yer edinebilmeleri iş devamlılığının sağlanması için gereklidir. Değişime kolay uyum sağlamak ise değişen bilgiye kolay ulaşmak ve bu bilgiyi özümsemek ile mümkün olabilmektedir. Bu bilgi aktarımı sırasında geçmişte var olan anlamlı bilgilerin kaybolmaması iş organizasyonları için fırsatlar meydana getirmektedir. Bu çalışmada; öncelikle bilgi ve bilgi yönetimi kavramları, bu kavramlara ilişkin yapılan çalışmalar ve yaklaşımlar incelenmiştir. Daha sonra şirketlerde meydana gelen bilgi akışı ve bu bilgi akışının yeni ürün geliştirme sürecine etkisine değinilmiştir. Çalışmanın son bölümünde ise Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (Product Lifecycle Management, PLM) kullanımı ile bilgi yönetiminin ürün geliştirme sürecindeki etkisi ve şirketlere sağladığı avantajlar değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi Yönetimi, Ürün Geliştirme Süreci, Ürün Geliştirme Süreci Yönetimi, PLM

## Ensuring Effective Information Flow by Using PLM in Product Development Process

### ABSTRACT

Knowledge is a concept without boundaries. Today it is constantly affected and developed with the rapid advance of technology. The meaningful information is created by the use and evaluation of information process. It is the most advanced form of information. It includes personal knowledge and experiences within meaningful information. With today's increasing competition conditions, it is necessary for business organizations should be adapt quickly to changes in their environment. They should develop new products and to gain a place in the market by launching them before their competitor in order to ensure business continuity. Adapting easily to change is possible by smoothly accessing and understand changing information. During the information transfer, it provides opportunity that keep meaningful information which already existed for business organizations. In this study; firstly, the concepts of knowledge and knowledge management studies and approaches related to these concepts were examined. Then, the information flow that occurs in companies and the effect of this information flow on the new product development process are mentioned. In the last part of the study, the effect of Product Lifecycle Management (PLM) and information management on product development process and the advantages it provides to companies are evaluated.

**Keywords:** Knowledge Management, Product Development Process, Product Development Process Management, PLM

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 01.03.2021

Kabul/Accepted : 31.05.2021

<sup>1</sup> Ege Üniversitesi, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Mükemmeliyet Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir

<sup>2</sup> Vestel Elektronik A.Ş, Kıdemli Tedarik Zinciri Uzmanı, Manisa, gamzesarii@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3185-0991

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi, Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi Mükemmeliyet Uygulama ve Araştırma Merkezi, İzmir, sami.sayer@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7204-0560

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

The first distinction regarding the types of knowledge is made by Polanyi (1985) in the form of implicit knowledge and explicit knowledge. Implicit knowledge refers to personal and context-specific information, while explicit knowledge refers to systemic and non-personal information based on science. The effective use of the knowledge and experience gained by companies in product formation processes provide companies with a significant competitive advantage. Companies that develop the newest, most up-to-date and most technological products or services before their competitors and can offer them to consumers strengthen their positions by having a large share in the market share. Companies that cannot keep up with these tough competition conditions will unfortunately lose their competitive advantage and disappear day by day. For companies that want to adapt to priority of this process are developing the abilities of putting the new product into use as soon as possible, preventing the losses in the new product development process and using the past experiences effectively. While doing this, it should be a precedence for companies to build innovations on these experiences and to make the flow of information effective without losing the experience used in the past in the organization. Companies that cannot make the flow of information effective will not be able to adapt to the changing competitive conditions. PLM makes business processes more efficient by managing product and business information generated throughout the product lifecycle. Provides effective use of the information process. In this study, the advantages that can be achieved by using the PLM system to ensure efficient information flow are evaluated.

### Objectives

The main purpose of the study is to explain the importance of knowledge management and to examine the effects of knowledge management on companies' business processes. To reveal that PLM is an approach that plays an important role in ensuring effective knowledge management. In addition, it is aimed to increase the efficiency of the information flow at every stage of the product life cycle. As a result of the literature review, it was concluded that a new publication on this subject would be highly likely to contribute to the literature, since there are few academic studies that dealt with knowledge management and PLM issues together throughout the product life cycle.

### Methods

Within the scope of the study, existing publications on knowledge management, PLM, product development process, product life cycle keywords were scanned in English and Turkish. In the literature review on the concepts of knowledge management and PLM, the effects of PLM use on knowledge management have been demonstrated using relevant publications and various sources. Information flow and the main methods used (Virtual Knowledge Center-VKC) in global companies are mentioned.

### Results

Changing social, economic, technological conditions and consumer behavior make competition conditions difficult for companies day by day. Fierce competition conditions can have fatal consequences even for businesses that have a strategy to preserve the current situation. For



business organizations that want to ensure their continuity, it has become inevitable to keep up with change and create a strong organizational resistance that will not be affected by these changes. Companies that develop information processes, provide rapid dissemination of changing information for the whole organization and manage this process effectively will be able to survive in all these challenging competitive conditions.

Companies that want to produce solutions for consumer needs and changing consumer behavior have to create new products with different features or add new features to their existing products and update them in a short time. In this process, there are different approaches and methods that will benefit companies. The business process and organizational structure is different in every organization. First of all, companies should define their own needs correctly and seek solutions suitable for this need.

PLM philosophy and applications that provide effective knowledge management by handling the entire process from the idea stage to the disposal of a product will be a suitable solution for companies aiming for efficient information management. It is an indisputable fact that existing organizations that have adopted the PLM philosophy and progress in this direction have a great share in the success of the information management process efficiency.

### **Discussion**

The study includes the relationship between knowledge management, product development process and PLM, and explains its impact on the product lifecycle. Then, with the use of PLM, the efficiency of the knowledge management process and the changes in the operation of the processes are explained. Therefore, it is possible to say that efficiency in knowledge management will be achieved with PLM.

In subsequent studies, researchers are recommended to conduct industry-focused case studies demonstrating the interaction of knowledge management and PLM in the product life-cycle.

## GİRİŞ

Son yıllarda yapılan araştırmalar; teknolojik gelişmelere paralel olarak ürün geliştirme sürecinde kalıcı değişikliklerin oluştuğunu göstermektedir. Ürün değer oluşumunda yazılım ve elektroniğin giderek artması, ürünlerin mekatronik ürün oluşum sürecini hızlandırmıştır. Otomobil üretiminde yazılım ve elektronik uygulamalarının % 40 oranında artmış olması, çok disiplinli çalışma alanında bilgi akışının ne kadar önemli olduğunun somut örneğidir. Bu gelişmelere paralel olarak müşteri beklentilerini karşılamak için ürünlerde türev ve varyant çeşitliliğinin de artmasına neden olmuştur [1]. Bunun sonucunda şirketler hayatta kalabilmek ve rakipleri karşısında avantajlarını sürdürebilmek için; yeniliklere uyum sağlamak ve rekabet sahnesinde güçlü bir oyuncu olmak zorundadır. Etkin bilgi yönetimini sağlayan ve değişen bilgiyi en hızlı şekilde tüm organizasyon için kullanılabilir kılan şirketler rekabet sahnesinin en güçlü oyuncularını olabilmektedir. Bu durumda şirketler değişen bilgiye hızlı adapte olma yeteneklerini geliştirmeli, bu değişimi meydana getiren unsurları doğru anlamalı ve tanımlamalıdır.

Teknolojik gelişmelere paralel olarak tüketici davranışları da büyük ölçüde değişmiştir. Günümüzde tüketiciler yeni ürünler hakkında kısa sürede bilgi edinebilmekte ve tercihlerini bu yeni ürünlerden yana kullanmaktadır. Değişen tüketici davranışları ve yeni ürüne olan talebin artması ile şirketler dünya çapında rekabet edebilmek için mevcut ürünü geliştirme veya yeni ürün oluşturma süreçlerini etkin ve verimli kullanmak zorundadır. Şirketlerin ürün oluşum süreçlerinde edinmiş oldukları bilgi ve deneyimi etkin kullanmaları şirketlere önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır. Rakiplerinden önce en yeni, en güncel ve en teknolojik ürünleri veya hizmetleri geliştiren, tüketicilere sunabilen şirketler pazar payında büyük paya sahip olarak konumlarını güçlendirmektedir. Bu zorlu rekabet koşullarına ayak uyduramayan şirketler ise ne yazık ki rekabet avantajlarını kaybederek günden güne yok olacaklardır. Bu sürece adapte olmak isteyen şirketler için ise öncelik yeni ürünü mümkün olan en kısa sürede devreye alma, yeni ürün geliştirme sürecindeki kayıpları önleme, geçmişteki tecrübeleri etkin bir şekilde kullanabilme yeteneklerini geliştirmektir. Bunu yaparken organizasyonda geçmişte kullanılan tecrübeyi kaybetmeden yenilikleri bu tecrübeler üzerine inşa etmek ve bilgi akışını etkin hale getirmek şirketler için öncelik olmalıdır. Bilgi akışını etkin hale getiremeyen şirketler değişen zorlu rekabet koşullarına adapte olamayacaklardır. Global pazarda lider konumunda olan kurumsal şirketlerde ürün geliştirme sürecinde ihtiyaç duyulan bilgiler, şirketlerin oluşturdukları sanal bilgi merkezlerinden (Virtual Knowledge Center – VKC) sağlanmaktadır. Sanal bilgi merkezlerine bilgi akışı işletme içerisinde alanında uzman çalışanlardan ve şirkete danışmanlık hizmeti veren kişi veya kuruluşlardan gerçekleştirilmektedir.



# 1. BİLGİ YÖNETİMİ

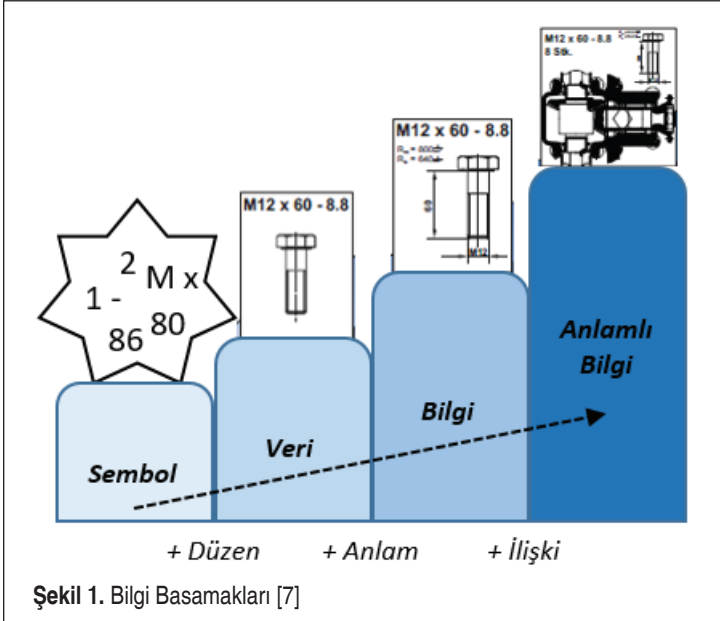
## 1.1 Bilgi ve Bilgi Türleri

Farklı bilim dallarında kullanılmakta olan “Bilgi” terimi farklı şekillerde tanımlanmaktadır. Bunun nedenleri farklı bakış açıları, anlayış düzeyleri ve bu konudaki bilimsel yaklaşımlardır. Sonuç olarak; Bilgi, bir konu üzerinde teorik ve pratik olarak ortaya çıkan ürün olarak tanımlanır. İlk olarak 1985 yılında Polanyi'nin bulgularına dayanarak örtük ve açık bilgi şeklinde bilgi tanımlamaları yapılmıştır [2]. Nonaka/Takeuchi 1997 yılında geliştirmiş olduğu bir model ile şirketlerde açık bilgi yaratma oranlarını incelemiştir [3]. Örtük bilgi, kişisel ve bağlama özgü olan bilgiyi, açık bilgi ise sistemsel-kişisel olmayan ve bilimselliğe dayanan bilgiyi ifade etmektedir (Tablo 1).

Bilgi öğrenmenin sonucunda ortaya çıkan kavramdır. Öğrenilmeyen bilgi kullanılabilir değildir [4]. Öğrenen organizasyonlar bilgiyi kullanabilir, yeni bilgiler yaratabilir

**Tablo 1.** Örtük ve Açık Bilgi [3]

Bilgi	Açıklama	Bilgi İletimi
Örtük Bilgi	Kişiselliğe dayanır.	Zor
Açık Bilgi	Bilimselliğe dayanır.	Kolay

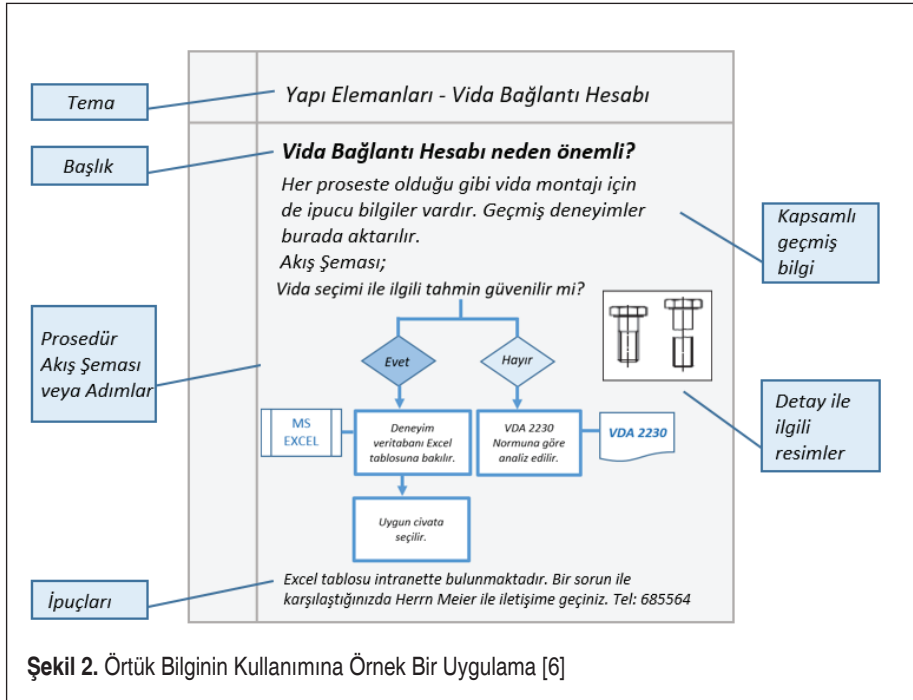


ve organizasyon içinde yayılımını sağlayarak bilgiyi problemlerin çözümünde kullanabilirler [5].

Mühendislik alanında bilgi yönetimi; ayırım ve farklarına göre veri, bilgi ve bilgi terimlerini tanımlar, bilgi yapılandırılmış verilerin bütünüdür. İlişkili bilgiler ise bilgi terimlerini oluşturur. Bilgi yönetimi bağlantılı verileri, bilgileri ve bilgi terimlerini temsil eden ve ilişkilendiren sistemler bütünüdür [6].

Sırasıyla “Sembol → Veri → Bilgi → Anımlı Bilgi” adımlarından oluşan bilgi basamakları Şekil 1’de gösterilmiştir.

Başlangıç olarak sadece sembollerden söz edilebilir (Ör:M12x8680). Burada bilginin varlığı söz konusu değildir. Bir cıvata ölçülerinin tanımlanması için kullanılan semboller birlikte belirli bir düzende kullanıldığında bir veriyi meydana getirir (Ör:M12x60-8.8). Bu sembollerin beraber kullanımı cıvatanın isimlendirmesini meydana getirmiştir. Burada yer alan M: cıvata tipinin metrik olduğunu ve vida profil kesitinin eşkenar üçgen olduğunu, 12’in cıvata dış çap ölçüsünü, 60’ın cıvata vida boyunun uzunluğunu, 8.8 ise cıvata malzemesini, dolayısıyla bu cıvatanın akma ve kopma mukavemeti hakkında konusunda uzman olan kişiler için somut bilgileri içermektedir. Konu ile ilgili bilgi sahibi olmayan kişiler için bu bilgiler sadece bir sembol anlamı taşımaktadır. Veriyi oluşturan bu semboller artık bilgi haline gelmiş ve birlikte anlam-



Şekil 2. Örtük Bilginin Kullanımına Örnek Bir Uygulama [6]

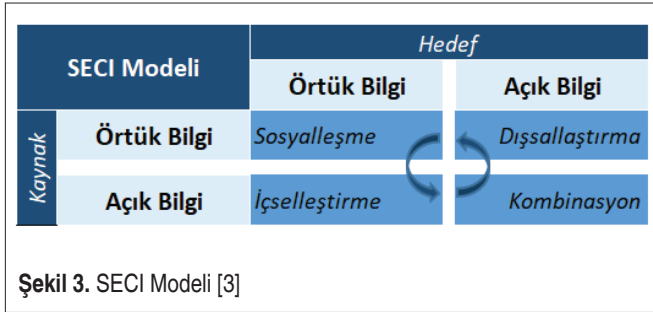




lanmaya başlamıştır. Bu adımda civatanın akma mukavemetinin 8.8 civata malzemesi için  $(8 \times 8 \times 10 = 640)$   $640 \text{ N/mm}^2$  olduğu bilgisine ulaşabiliriz. Son aşamada ise anlamlı bilgiden söz edilebilir. Bu seviyede tecrübe ve deneyimler de etkili olmaya başlamıştır. M12x60-8.8 civatasının nerede kullanılması gerektiği, teknik yeterliliği, montaj yöntemi gibi bilgileri anlamlı bilgi olarak son basamakta ifade etmek mümkündür [6].

Şirketlerde örtülü bilgi kullanımına örnek olarak vida kullanımı konusunda çalışanlar için hazırlanmış bir doküman yer almaktadır (Şekil 2). Bu dokümanda işin detayları ve önemli tecrübeler yer verilmiştir. Çalışırken uygun vida seçiminde bu dokümana başvuran bir çalışan uygun seçimi yapmak için VDA 2230 normuna veya şirket içerisinde örtülü bilgi ile oluşturulmuş Excel deneyim tablosuna yönlendirilmiştir. Şirketler içerisinde bu ve bunun gibi birçok başvuru dokümanı olduğu düşünüldüğünde bu süreç karmaşık hale gelmektedir. Aynı zamanda bunların doküman haline getirilmesi, güncellemelerin anlık aktarılması ve veri tabanının güvenilirliğini sağlamak da süreklilik için önemlidir. Tüm bu dokümanların kişisel hatalara yer verilmeden çok dikkatli oluşturulması ve takip edilmesi gerekmektedir.

Bilgi yaratımı konusunda şirketlerde daha yapılandırılmış ve kapsamlı bir bilgi yaratım ve bilgi yönetim sisteminden söz etmek mümkündür. Bu sistem SECI (Socialization, Externalization, Combination, Internalization – Sosyalleşme, Dışsallaştırma, Kombinasyon, İçselleştirme) modeli olarak bilinir. Tek bir çalışan ile başlayan ve devamında bilgi akışının tüm şirket çalışanlarına yayılımı sürecini ifade eder [3].



Bu analizde örtük ve açık bilginin etkileşiminin önemi açısından dört kategori ele alınmaktadır. Bilgi yaratma sarmalı olarak da ifade edilen SECI Modeli Şekil 3'te gösterilmiştir. İş dünyasında SECI modeli doğrultusunda bilgi yaratma sarmalı ise Şekil 4'te paylaşılmıştır.

SECI modeli içerisindeki dört kategoride bilgi akışı “Kaynak → İletilen bilgi → Hedef” şeklindedir.

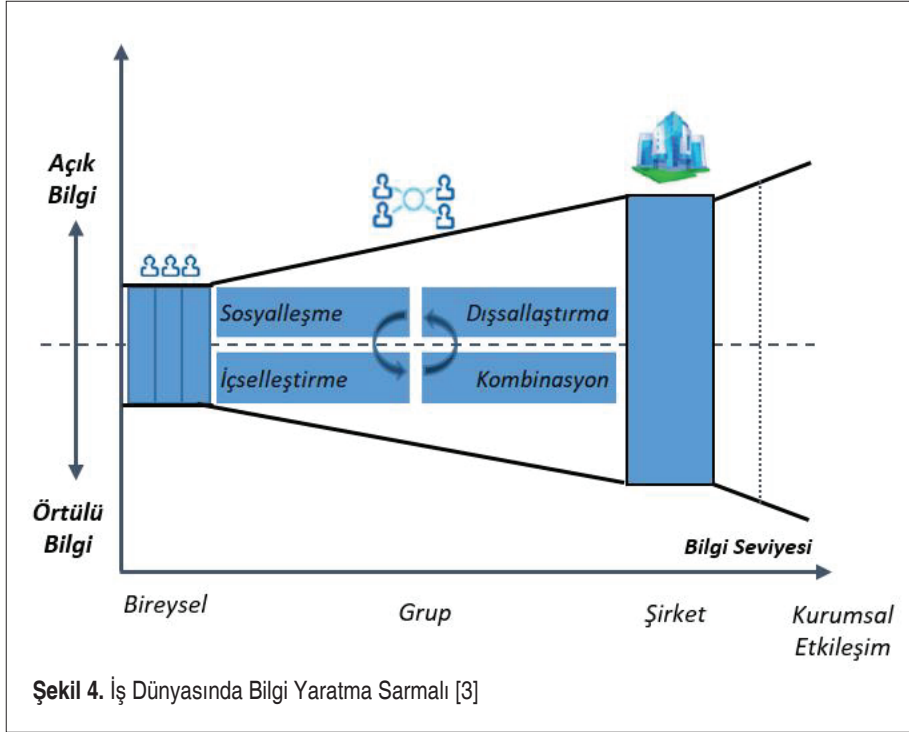
Sosyalleşme → Tamamen örtük bilgi akışından söz edilir. Şirkette iki çalışan ara-

sında daha tecrübeli olanın tecrübesiz olana sözel bilgi aktarımı bu duruma örnektir. Kaynak resmi olmayan kişiselleşmiş bilgisini sözel yolla ifade ettiği için hedef bilgi edinme noktasında kendi algılarından faydalanır.

Dışsallaştırma → Kaynaktan örtük, hedefte açık bilgi akışından söz edilir. Şirkette iki çalışan arasında daha tecrübeli olanın tecrübesiz olana talimat veya formlar üzerinden bilgi aktarımı bu duruma örnektir. Kaynak resmi olmayan kişiselleşmiş bilgisini resmi yolla ifade ettiği için hedef bilgi edinme noktasında resmi belgelerden yani açık bilgiden faydalanır.

Kombinasyon → Tamamen açık bilgi akışından söz edilir. Bir test mühendisinin bir dizi ölçüm sonucunda elde ettiği bilgiyi talimat ile doküman haline getirmesi olarak gösterilebilir.

İçselleştirme → Kaynaktan açık, hedefte örtük bilgi akışından söz edilir. İşe yeni başlayan bir çalışanın form ve kayıtlardan faydalanarak tecrübe edinmeye çalışması örnek verilebilir. Kaynak resmi bilgidir, hedef bilgi edinme noktasında resmi belgelerden yani açık bilgiden faydalanır fakat kendi algısı doğrultusunda bu bilgiyi hatırlayacaktır[6].



Şekil 4. İş Dünyasında Bilgi Yaratma Sarmalı [3]



## 1.2 Bilgi Oluşturma ve Geliştirme Yöntemleri

Bilgi ile ilgili geçmişten bu yana organizasyonlarda bilginin sistematik kullanımı ve bilgi yönetimi ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bilgi yönetimi konusunda yapılan çalışmalara kronolojik sıra ile değinecek olursak;

Bilgi çalışma süreçlerinin iyileştirilmesi ile ilgili 1996 yılında bilgi işleme ve iş süreçleri ile ilgili geliştirilmiş bir yaklaşım bulunmaktadır. Bu çalışmada iş süreçleri yeniden yapılandırılmış ve bir süreç için alt süreçlerin tanımlanması söz konusudur. İş süreçlerinin bütünlüğünü sağlamak amacıyla bilgi süreçleri ile ilişkilerine değinilmiştir [8].

1997 yılında şirketlerde bilgi yönetimi ile ilgili sorunlar ele alınmış ve kategorize edilmiştir. Bu çalışma ile bilgi yönetiminin yapı taşları konusunda uygulama odaklı bir bakış açısı sunulmuştur [7].

1998 yılında model tabanlı bilgi yönetimi konusunda yapılan çalışma ile bilgiyi işlemek ve geliştirmek ele alınmıştır. Bu çalışmaya göre; bilgi işlemenin 5 işlevinden söz edilmektedir. Bunlar; bilgi edinme, bilgiyi tanımlama, bilgiyi aktarma, bilginin kullanımı ve bilginin geçerliliğini kaybetmesi ile kaldırılmasıdır [9].

1998 yılında referans modelli bilgi yönetimi konusunda çalışılmıştır. Bu çalışmada şirkete özgü bilgi yönetiminden söz etmek mümkündür. Bilgi yönetimi konusunda şirketin dinamiklerine özgü bir referans model ele alınır [10].

Amsterdam Üniversitesi liderliğinde 1999'da ortak bir yaklaşım ile bilgi analizi ve bilgi tasarım sistemi incelenmiştir. KADS (Knowledge Analysis and Design System) adı verilen bu çalışma genel anlamda birçok farklı model için yapılmıştır. Bu modeller ise; organizasyon modeli, görev modeli, aracı modeli, bilgi modeli, iletişim modeli ve tasarım modelidir [6].

2000'li yıllarda yapılan bir AB projesi sonucunda ortaya çıkan Know-Net yöntemi ise ürün olarak bilgi yaklaşımı ile daha önceki süreç yaklaşımlarının geliştirilmesi esas alınarak tamamlanmıştır [6].

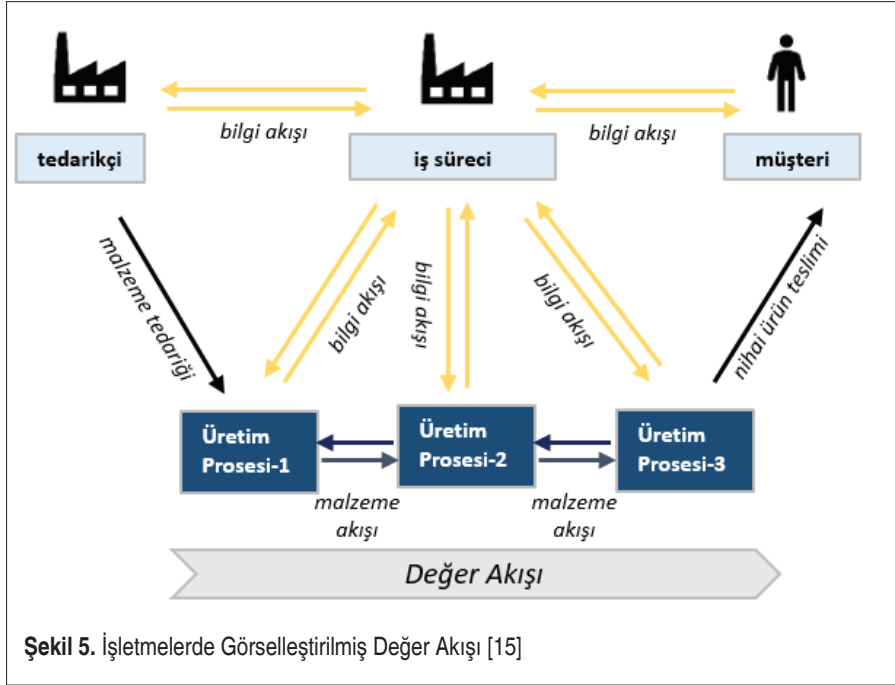
2002 yılında geliştirilen GPO-WM (Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement) modelinde ise iş süreci odaklı bilgi yaklaşımı söz konusudur. Bilgi yönetimi anlamında genişletilmiş bir iş süreci yöntemi sunmaktadır [11].

2006 yılında bilgi yaklaşımına ilk kez bir modelleme dili oluşturulmuştur. Bu çalışma ile bilgi akışına ek olarak bilgi dönüşümleri (üretim, uygulama ve bilgi dağılımı) tanımlanmıştır. Bilgi modellemesinin genel amacı bilgi süreçlerinin optimize edilmesidir [12].

### 1.3 Global Şirketlerde Bilgi Akışı ve Bilginin Kullanımı

Global organizasyonlardaki bilgi sürecinin kalitesi şirketin verimi anlamına gelmektedir. Bilgi edinmenin kolaylıkla sağlandığı, bilgi şeffaflığının korunduğu ve bilgi akışının sorunsuz meydana geldiği organizasyonlarda iş akışı ve iş yönetim süreçleri kolaylaşır.

Bilgi Yönetimi, bir organizasyonun bilgi yaratma, paylaşma, kullanma ve yönetme sürecidir. Bilgiden en iyi şekilde yararlanarak organizasyonel hedeflere ulaşmak için kullandığı çok disiplinli bir yaklaşımı ifade eder. İşletmelerde bilgi ve değer akışı Şekil 5'te paylaşılmıştır.



Bilgi yönetiminin faydaları;

- Ürün ve hizmetlerin sağlanması ve geliştirilmesinde artan bilgi içeriğinin kullanılabilir hale getirilmesi,
- Daha kısa süreç geliştirme döngüleri elde etmek,
- İnovasyon ve organizasyonel öğrenmeyi kolaylaştırmak ve kolay yönetilebilir hale getirmek,
- Organizasyon genelinde uzmanlıklardan yararlanma,
- İç ve dış paydaşlar arasında bilgi ağını geliştirmek,

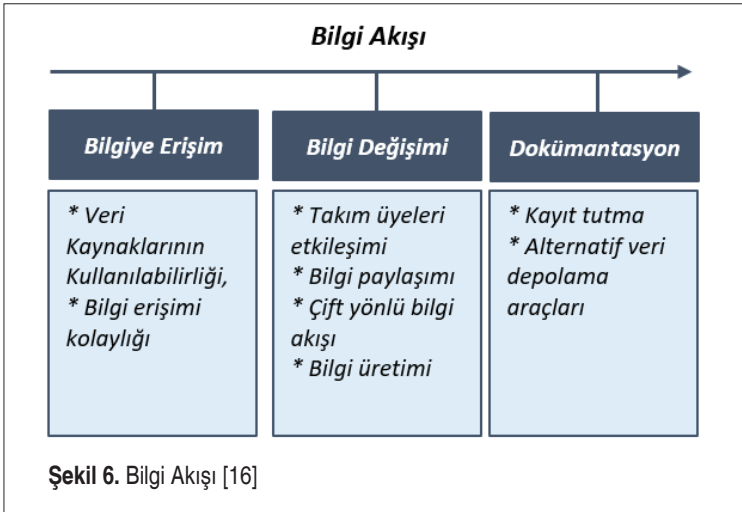


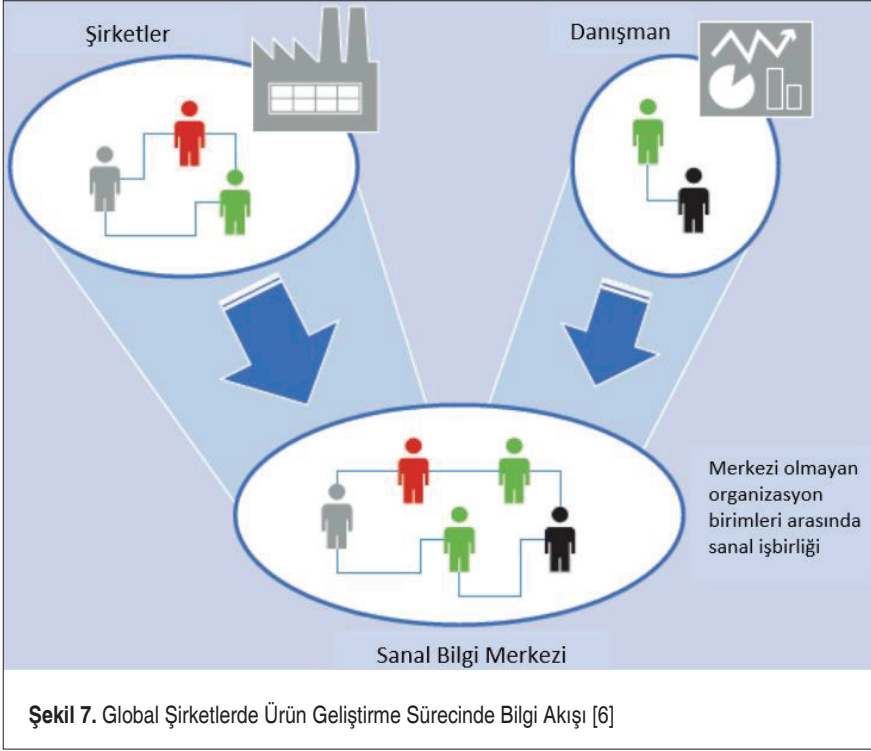
- İş ortamını yönetmek ve çalışanların işlerine uygun iç görüşler ve fikirler edinmelerine izin vermek,
- Problemleri çözmek ve bu çözüm metotlarını benzer problemler için de kullanabilmek,
- İş gücünü etkin yönetmek ve uzmanlık ürünü kilit bilgilere tüm çalışanlar tarafından kolay erişimini sağlamaktır [13,14].

Global şirketlerde bilgi akışı Şekil 5'te olduğu gibi hammaddenin tedarikçi firmadan tedarik edilmesi ile başlar, organizasyon içi süreç zinciri (kalite, lojistik, üretim vb.) ile bütünleşir ve son ürünün müşteriye ulaşması ile tamamlanır. Organizasyondaki bilgi akışı tek yönlü olmamalıdır. Örneğin, bir işletmede soyut olarak oluşan yeni ürün bilgisi son aşamada müşteriye ulaşan somut ürün ile taşınmaktadır. Aynı zamanda organizasyonda geçmişte müşteriye ulaşan somut ürün bilgisi yeni ürün geliştirme sürecinde organizasyon için bilgi kaynağı olabilmektedir [15].

Bilgi akışı için belirlenmiş 3 unsur bulunmaktadır. Bunlar; bilgiye erişim, bilgi alışverişi ve bilginin doküman haline getirilmesidir. Bilgi akışı Şekil 6'da görsel olarak paylaşılmıştır.

Bilgiye erişim, verilerin varlığı ve veriye kolay erişilebilir olması ile ilgili bir unsurdur. Bilgi alışverişi ise verinin akışını temsil eder. Ekip içi iletişim kanalları ve bilginin üretilebilir olması, bu bilginin yayılması için gerekli ortamın varlığı ile sürdürülebilir. Şirketlerde yapılan toplantılar, takım toplantısı, yönetim toplantıları vs. Bilginin dokümantasyonu ise kullanılan bilginin saklanması, kullanılması ile ilgilidir. Belgeler, toplantı notları veri saklama ortamları, kullanılan sistemler bilgiyi doküman olarak saklamak için kullanılan yöntemlerden birkaçıdır [16].





Global pazarda lider konumunda olan kurumsal şirketlerde ürün geliştirme sürecinde ihtiyaç duyulan bilgiler, şirketlerin oluşturmuş oldukları sanal bilgi merkezlerinden (Virtual Knowledge Center-VKC) sağlanmaktadır. Sanal bilgi merkezi platformu çalışanların sanal ortamda kolaylıkla erişebileceği bir bilgi havuzunu ifade eder.

Sanal bilgi merkezi evrensel bir organizasyon aracı olup, bilgi ve bilgi içeriği şirket içerisinde etkinleştirilmiştir. Sanal bilgi merkezinde harici ve dâhili bilgiler birbiri ile birleştirilerek şirket ve şirket ortaklarının ulaşabileceği ortak bir web platformda kullanıma sunulmuştur (Şekil 7). VKC yalnızca bilginin kullanımı ile ilgili değil, aynı zamanda kullanılan bilgi paylaşımını da teşvik eden bir sistemdir [6].

Günümüzde dünya çapında faaliyet gösteren şirketlerde görebileğimiz bu yapıya, şirket çalışanları ile takım çalışması içerisinde çalışan danışman şirketler arasında kullanılan ortak sanal platformlar örnek verilebilir. Ürün geliştirme faaliyetleri kapsamında alınan hizmetler bu sanal platform üzerinden bilgilerin oluşturulması, ilişkilendirilmesi, depolanması ve ihtiyaç duyulduğunda kullanılması amacıyla oluşturulmaktadır. Böylece şirket ve danışman şirketler arasındaki bilgi köprüsü kurulur. Sanal bilgi merkezinde ortak çalışma verileri kullanılabilir bilgi kaynağı haline getirilerek bilginin kaybolmaması ve etkin kullanımı amaçlanmaktadır.



## 2. YENİ ÜRÜN GELİŞTİRME SÜRECİ

### 2.1 Şirketler İçin Yeni Ürün Geliştirme Sürecinin Önemi

İşletmeler için yeni bir ürün geliştirmek ve bu yeni ürünleri müşterilerine sunmak avantajları da beraberinde getirir. Yeni ürün devreye alma sürecine önem veren ve etkin bir şekilde yeni ürünleri devreye alan şirketler rekabet ortamının zorlu koşullarına kolaylıkla uyum sağlayabilir, zaman içerisinde büyüyerek varlıklarını sürdürebilir. Günümüzde teknolojik değişimin hızı ve müşteri alışkanlıklarının değişmesi ile yeni ürünlere olan talep artmaktadır. Piyasaya sunulan ürünler kısa süre sonra yeni modellerin veya geliştirmelerin devreye alınması ile tercih edilmemekte ve yaşam ömrünü tamamlamaktadır. Bu yüzden şirketler için öncelik mevcut ürünleri en kısa sürede geliştirmek veya en yeni ürünü en kısa sürede müşterilerin beğenisine sunmak olmalıdır. Yeni ürün geliştirmek aynı zamanda yetenekli ve uyumlu bir iş organizasyonu, finansal kaynaklar ve etkin planlama ile mümkündür [17].

Yeni ürünlerde aranan özellikler;

- Pazar koşullarına uygun ve müşteri beklentisine paralel olmalıdır,
- Firmanın pazar deneyimi ve kaynakları ile uyumlu olmalıdır,
- Mevcut ürün gamı ve ürün stratejisi ile uyumlu olmalıdır,
- Finansal durum iyi analiz edilmeli ve planlanmalıdır,
- Yönetim tarafından desteklenmeli ve takip edilmelidir [18].

İşletmeler için yeni ürünün önemi ise şu şekilde detaylandırılabilir;

- İşletmeler için farklılık avantajı sağlar ve pazarda ilgi uyandırır,
- İşletmenin imajına yatırımdır. Pazar koşullarında benimsenen ürünler müşterilerde marka alışkanlığı yaratır,
- İşletmeler için kâr payının artmasını sağlayabilir. Müşteriler tarafından benimsenmiş ürünler işletmeler için uygun fiyatlandırma politikası beraberinde yüksek kâr payı avantajı yaratır,
- Değişken piyasa koşullarında yer alan işletmeler için yeni ürünler, piyasa değişkenliğinde ürünler için oluşabilecek riskin dağılmasını sağlar,
- Dağıtım kanallarında verimliliğini artırmak için yeni ürün geliştirilebilir. Bu şekilde reklam ve dağıtım maliyetleri ürünlere dağılmış ve potansiyel rakiplerin dağıtım ağına girmeleri engellenmiş olur,
- Stratejik açıdan teknolojiyi kullanarak rekabeti sürdürmek isteyen işletmeler yeni ürünleri devreye alarak rekabet piyasasında etkin rol alabilir,
- Geri dönüşüm sürecine giren mevcut ürünler, işletmenin yeni ürünleri için referans ve girdi oluşturabilir. Bu durum işletmeler için avantajdır,
- Müşterilerin yaşam tarzlarına ve yaşam alışkanlıklarında oluşabilecek değişikliklere karşı işletmeler yeni ürünleri kullanabilirler,

- Değişen kanunlara ve yönetmeliklere ayak uydurmak için, işletmeler yeni ürün geliştirme stratejisini kullanabilirler [19].

Yeni ürün devreye alma süreci için en önemli adımlar planlama, araştırma ve geliştirme faaliyetleridir. İşletmeler bu adımlarda kaynaklarını en etkin şekilde kullanmayı ve müşteri algısını doğru yönetmeyi amaçlamalıdır. Bu süreçte önemli bir nokta da yeni ürünün başarısız olabileceği ihtimalinin de düşünülmesi gerektiğidir [20].

İşletmeler için başarı faktörü yeni ürün geliştirme sürecindeki başarı ile paraleldir. Yeni ürünler işletmeler için rekabet ortamında sağlam ve güvenli bir yolculuk anlamına gelmektedir. Rakiplerin benzer ürünleri ise pazar koşullarında tutunabilmek için risk oluşturur. Geliştirilen yeni özellikler zamanla müşteriler tarafından benimsenmekte ve temel gereklilik haline gelmektedir. Bu durumda ürünlerin daha iyi özelliklerini devreye alabilmek gerekir. Süreklilik haline gelen yeni ürün geliştirme süreci işletmeler için rekabet ortamında büyük bir avantaj sağlayacaktır [21].

Benzersiz kullanıcı deneyimi sağlayan bu yeni ve iyileştirilmiş ürünlerin sağladığı avantajlar;

- Müşterinin parasının karşılığı olarak iyi bir değer sunar. Fiyat/performans kıyaslamasında avantaj sağlar,
- Rakip ürünlere kıyasla mükemmel ürün kalitesi sağlar,
- Kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılama anlamında rakip ürünlerden üstündür,
- Müşteri tarafından kolayca algılanan fayda ve nitelikleri barındırır [22].

## 2.2 Yeni Ürün Geliştirme Sürecinde Bilgi Akışı

Günümüzde global şirketlerde yeni ürün geliştirme faaliyetlerinde işbirliğinin artmasının avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Farklı ekiplerin birlikte yeni bir ürünü meydana getirmek için yaptıkları çalışmalarda belirli sorunlar ve zorluklardan söz edilir. Bu sorun ve zorluklar; sık görülen kalite hataları, iletişim ve işbirliği aksaklıkları, son teslim tarihi ile ilgili ekipler arasında koordinasyonun sağlanamaması gibi problemlerdir. İşbirliği odaklı çalışmalar, farklı ekipler arasında gerekli anlaşmaların zamanında sağlanması, yoğun iletişim, koordinasyon, etkin veri akışı ve bilgi alışverişi gerektirir. Bu süreçte yaşanabilecek problemler doğru bilgi yönetiminin sağlanabilmesi ve tüm ekiplerin hedefe ilerlerken ortak bilgiyi etkin kullanabilmesi ile bertaraf edilebilir [23].

Ürün yaşam döngüsü yönetimi (PLM), somut olmayan bir ürün konseptinin başlangıç aşamasından, devreye alınmasına ve geri dönüşümüne kadar olan ürün yaşam döngüsü boyunca ürünle ilgili birçok mühendislik, iş ve yönetim faaliyetleri arasındaki ilişkiyi koordine eder [24]. PLM'in kısa ve açık bir tanımını yapmak gerekirse, ürün yaşam döngüsü sürecinde doğru bilginin, doğru zamanda, doğru kişiye ulaşması olarak tanımlanır [25]. Ürün ve üretim süreçlerine ait bilgileri dijital ortamda toplayarak,



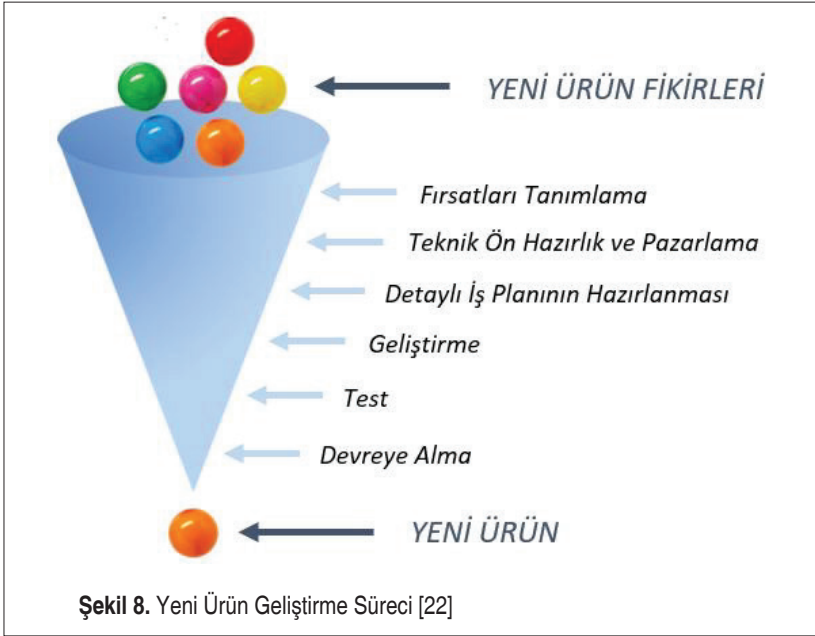


farklı iş birimleri arasındaki bilgi akışının etkinliğini artırır. PLM uygulamaları ile ürün yaşam döngüsünün etkin yönetimi sağlanır ve rekabet avantajı elde edilir [26].

Yeni ürün geliştirme sürecinde temel aşamalar şu şekildedir;

- Yeni ürünün planlaması
- Yeni ürünün kavramsal olarak tasarlanması,
- Yeni ürün uygunluğunun analiz edilmesi,
- Yeni ürünü tanımlama,
- Yeni ürünün devreye alınması
- Yeni ürünün geliştirilmesi,
- Pazara sunumun gerçekleştirilmesi [27].

Yeni ürün için fikirlerin toplanması ile başlayan yeni ürün geliştirme süreci, yeni ürünün somut olarak üretiminin tamamlandığı hatta müşteriye teslimi ile sonuçlanan süreçler bütünüdür [22]. Yeni ürünün konsept oluşum aşamasında fikirlerin toplanması, rakip ürünlerin incelenmesi, müşteri beklentilerinin alınması ve teknolojik gelişmelerin takibi ile sağlanır. Sürecin devamında ise şirketlerin stratejik hedefleri doğrultusunda şirketin kapasitesi, hedeflenen pazara uygunluk gibi birçok ölçüt birlikte değerlendirilerek hedef ürün konsepti netlik kazanır. Bunun sonucu olarak Şekil-8'de belirtildiği gibi ürün geliştirme sürecinin süreç adımları detaylandırılarak proje hedefleri tanımlanır ve proje sonunda yeni ürünün oluşumu sağlanır.



Yeni ürün geliştirme süreci genel olarak;

- Pazar koşullarının ve fırsatların belirlenmesi,
- Yeni ürün kavramının geliştirilmesi,
- Proje detaylarının analiz edilmesi,
- Yeni ürünün tüm hatları ile geliştirilmesi,
- Ürünün müşteri beğenisine sunumu şeklindedir [28].

Yeni ürün geliştirme faaliyetleri boyunca dikkat edilmesi gereken bu sürecin adımlarının esnek bir şekilde planlanmasıdır. Süreç ürüne özgü olmamalıdır, her yeni ürün geliştirme adımında uygulanabilir sistemler bütünü şeklinde olmalıdır. Yeni ürün fikirleri ve finansal durum analizi uyum içerisinde olmalıdır ve birlikte değerlendirilmelidir. Müşteri talepleri ve piyasa koşulları iyi analiz edilmelidir. Buna ek olarak yeni ürün ile ilgili önemli geliştirme faaliyetleri rakip şirketler ile paylaşılmamalıdır [19].

### 3. ÜRÜN GELİŞTİRME VE PLM

#### 3.1 PLM'in Ürün Geliştirme Sürecine Faydaları

Ürün yaşam süreleri, günümüzde teknolojinin hızlı yayılımı ve tüketici davranışlarındaki “tüketim” eğiliminin yaygınlaşması sebebiyle kısalmıştır [29]. Bu durum yeni ürün geliştirme sürecinin önemli bir hale getirmiş ve işletmeler için yeni ürün geliştirme sürecini kaçınılmaz kılmıştır [30]. Son yıllarda global şirketlerde yeni ürünlerin hızlı bir şekilde pazara sunmanın kurumsal öncelik olarak belirlendiği gözlenmektedir [31].

Yeni ürünleri rakiplerden daha hızlı şekilde pazara sunmak işletmeler için bazı fırsatları beraberinde getirmektedir. Bunlar;

- Yüksek satışlar elde etmek,
- Belirlenen hedefe hızlı ulaşabilmek,
- Satışlarda sürekliliği sağlamak,
- Pazara erken sunum ile yüksek fiyatlandırma avantajı elde edebilmek,
- Müşterilerde alışkanlık yaratmak,
- Pazar payında yüksek hacim elde etmek,
- Teknolojik üstünlük sağlayabilmek,
- Firma imajını kalıcı hale getirebilmek,
- Ürün gamının artması,
- Rekabet avantajının sağlanmasıdır [32].

Global şirketlerde yeni ürün geliştirme süreci sonucunda tüm bu faydaların elde edilmesi PLM uygulamalarının kullanımı ve organizasyonda içselleştirilmesi ile mümkün olabilmektedir.



PLM, bir ürüne ait tüm bilgilerin fikir oluşumundan hurdaya varıncaya kadar tüm süreçlere ait verilerin dijital ortamda kaydedilmelerini ve bu bilgilere doğrudan ve anında kolaylıkla ulaşılmasını, paylaşılmasını, seçilerek en uygunun kullanımını sağlar. PLM, çok amaçlı kullanımlı ve çok disiplinli bilgisayar destekli bir teknoloji organizasyonudur [33].

PLM, sanal bir ortamda ürün oluşum sürecinin temel taşlarının oluşturulmasında çözümler sunmaktadır. PLM çözümleri, ürün geliştirme sürecinde ürüne bağlı geometrik ve fonksiyonel bilgileri, planlama ve karar verme süreçlerini ve bunlar ile ilgili veri akışının sorunsuz ve zamanında gerçekleşmesini destekler. Kısaca PLM sunmuş olduğu çözümler ile ürün geliştirme sürecinde doğru zamanda, doğru bilgilerin, doğru kişilere ulaşmasını sağlar [25-26].

PLM kullanımı ile yeni ürün devreye alma sürecinde elde edilebilecek avantajlar,

- PLM ile şirketler ürün gamını doğru yönetebilir.
- PLM etkin kaynak ve kapasite yönetimi sağlar.
- PLM organizasyon içerisindeki tüm fonksiyonların birlikte etkin çalışmasını sağlar. Yeni ürün devreye alma sürecinde birlikte etkin çalışan fonksiyonların problem çözme direnci artar ve problem çözme süresi kısalmır.
- Yeni ürün devreye alma süresi kısalmır. Böylece yeni ürünün pazara daha erken sunulabilir. Pazar payı elde etmek anlamında şirketleri rakiplerine göre avantajlı kılar.
- Yeni ürün devreye alma sürecinde daha önce başarısızlığa sebep olan veriler analiz edilebilir. Bu da yeni ürün devreye alma sürecinde eski tecrübelerden faydalanmak anlamına gelmektedir.
- Müşterilerden gelen geribildirimler daha etkin bir biçimde yönetilir. Bu durum yeni ürün kararını veya mevcut ürünü geliştirme kararını doğru zamanda almak konusunda fayda sağlar.

### 3.2 Ürün Geliştirme Sürecinde PLM ile Etkin Bilgi Akışının Sağlanması

İş süreçlerinde gereksiz bilgi ve sistemlerin kullanımını ortadan kaldıran PLM, bilgi yönetim sistemini yalınlaştırır. Böylece organizasyondaki gereksiz iş adımlarını içeren iş süreçleri kısalmır. Bilgiye erişim kolay ve anlık yapılabildiği için çalışanlar bilgi edinmek ile zaman kaybetmezler, sonuç olarak daha verimli iş süreçleri yaratılmış olur. İç ve dış paydaşlar arasında iletişim güçlenir. Organizasyon için ortak bir dil oluşur, bu sayede organizasyon için etkin bir bilgi akışı sağlanır. PLM kullanımı ile müşteriye özgü ihtiyaçlara en iyi uyumu elde etmek için talep odaklı yapılandırılan karmaşık ürün ve hizmet süreçleri için modüler tasarım kullanan bir iş stratejisi tanımlanır. Böylece müşteri odaklı bir iş modeli meydana gelir. PLM platformu ürün geliştirme sürecinde bilgi akışının etkin olarak gerçekleşmesini sağlar. [24].

Bilim ve teknoloji alanındaki değişimler ile mühendislik süreçleri günden güne değişmektedir. Öyle ki “mühendis” kelimesinin tanımı bile günümüzde farklılaşmıştır. Günümüzde organizasyonlar farklı düşünen, farklı çalışan, yetenekli ve işbirliğine açık yeni nesil mühendisler ile çalışmayı tercih etmektedir. Değişen mühendislik kültürü yavaş yavaş tüm iş kollarına yayılıyor ve firmaları değişime hızlı adapte olmaya zorluyor. Değişime ayak uyduramayan organizasyonlar etkinliğini yitiriyor. Bunun yanında mühendisler de hantal iş süreçlerini yalınlaştırmaya, yeniliklere, gelişime ve bilgiye kolay erişime önem veriyor. Bu koşullar altında yeni sorunların geleneksel yöntemler ile çözümü neredeyse imkânsız hale geliyor [34]. Etkin bilgi yönetimini ele alan CAD/PDM/PLM süreçleri günümüzde kuantum sıçraması niteliğinde bir devrimdir. Günümüzde kültürel çeşitlilik içeren, katılımcı sosyal sorumluluk sahibi organizasyonlar için dijital bilgi yönetimi ihtiyacının karşılandığı en etkin çözümdür.

PLM, ürünün tasarımı, testi, konumu, durumu ve buna benzer daha kapsamlı bilgiler gibi tüm bir ürün veya ürün grubu hakkında kapsamlı genel bilgiler sunar. Ürün geliştirmeyle ilgili çeşitli faaliyetleri koordine etme ve öncesinde yapılabilecek birçok hatayı önleme yeteneği ve buna bağlı olarak şirketlere ürün sürecini daha iyi yönetme imkânı sağlar. Şirketlere daha iyi bir ürün anlayışı sunar ve değişen pazara daha hızlı yanıt verme imkânı verir. Bir PLM çözümünün kullanılması, ürünlerin kalitelerini, tasarımlarından ömürlerinin sonlarına kadar garanti edilmesi demektir [35].

PLM’in amacı ürün yaşam döngüsü boyunca müşteri beklentilerini karşılayarak şirketlerin kârlılığı artırmaktır. PLM, ürün geliştirme sürecinde, parça ve ürün alt bileşenlerinin oluşumundan, sistem oluşumuna kadar müşteriye özel farklı çözümler sunmaktadır.

PLM, ürün geliştirme sürecinde sunmuş olduğu çözümleri altı merkezi temel sürece ayırmıştır.

PLM sunmuş olduğu çözümler ile ürün geliştirme sürecinde;

- a) Kaynakların planlanması, kontrol edilmesi ve izlenmesini,
- b) Ürün portföyü yönetimini, bununla ilgili ürün stratejisi belirleme, ürün yol haritası ve ürün portföyü oluşturma,
- c) Ürünün tanımlama süreci, bununla ilgili olarak üretim ve pazarlama fonksiyonlarının tanımlanması,
- d) Ürün gerçekleştirme süreci, tasarlanmış, geliştirilmiş ve test edilmiş sanal ürün prototipi,
- e) Ürün devreye alma ve ticarileştirme süreci, aktif pazarlama ile birlikte ürün yaşam döngüsü boyunca ürün iyileştirme ve ürün portföyünü optimize etme,
- f) Ürünün pazardan çekilme süreci ile ilgili faaliyetlerin gerçekleşmesini destekler [36].



PLM kullanımı ile şirketler yaşam döngüsü boyunca ürünler üzerinde kontrol ve görünürlük sağlayabileceklerdir. Ürün yaşam döngüsü boyunca ürün bilgilerinin bütünlüğünü yakalayabilecek, güvenli bir şekilde yönetebilir ve koruyabilir durumda olacaklardır. Sonuç olarak bu bilgileri gerektiği yer ve zamanda kullanılabilir duruma geleceklerdir. Ürünle ilgili tüm süreçleri uyumlu, birleştirici, etkili ve yalın bir şekilde yöneterek avantajlı bir ürün yönetim sürecine sahip olacaklardır. PLM, tüm bunların yanında endüstri 4.0 ile birlikte gelişmekte olan sistemlerin ihtiyaç duyduğu adaptasyon yeteneğini artırmakta ve kullanılan farklı sistemlerin aynı dili konuşmasını sağlamaktadır [37].

#### 4. DEĞERLENDİRME VE ÖNERİLER

Değişen sosyal, ekonomik, teknolojik koşullar ve tüketici davranışları şirketler için rekabet koşullarını günden güne zorlaştırmaktadır. Zorlu rekabet koşulları günümüzde mevcut durumu koruma stratejisi güden işletmeler için bile ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Devamlılığını sağlamak isteyen iş organizasyonları için değişime ayak uydurmak ve bu değişikliklerden etkilenmeyecek güçlü bir organizasyon direnci oluşturmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Bilgi süreçlerini geliştiren, değişen bilginin hızlı yayılımını tüm organizasyon için sağlayan ve bu süreci etkin yönetebilen şirketler tüm bu zorlu rekabet koşullarında varlıklarını sürdürebileceklerdir.

Tüketici ihtiyaçlarına ve değişen tüketici davranışına yönelik çözüm üretmek isteyen şirketler farklı özellikler taşıyan yeni ürünler meydana getirmek veya mevcut ürünlerine yeni özellikler ekleyerek kısa sürede güncellemek zorundadır. Bu süreçte şirketlere fayda sağlayacak farklı yaklaşımlar ve metotlar mevcuttur. Her organizasyonda iş süreci ve organizasyon yapısı farklıdır. Şirketler öncelikle kendi ihtiyaçlarını doğru tanımlamalı ve bu ihtiyaca uygun çözüm arayışında olmalıdır.

Bir ürünün fikir aşamasından bertaraf edilene kadar tüm süreci ele alarak etkin bilgi yönetimi sağlayan PLM felsefesi ve uygulamaları verimli bilgi yönetimini amaçlayan şirketler için uygun bir çözüm olacaktır. PLM felsefesini benimsemiş ve bu doğrultuda ilerleyen mevcut organizasyonların bilgi yönetim süreci etkinliğinin başarılarında büyük pay sahibi olduğu tartışılmaz bir gerçektir.

#### KAYNAKÇA

1. **Eigner M.** 2014. "Modellbasierte virtuelle Produktentwicklung" ISBN: 366-2-438-151. Springer Vieweg.
2. **Polanyi M.** 1985. "Implizites Wissen" Suhrkamp Verlag, Berlin.
3. **Nonaka I., Takeuchi H.** 1997. "Die Organisation des Wissens" Campus Verlag, Frankfurt, New York.



4. **Yalçın B., Ay C.** 2011. “Bilgi Toplumunda Öğrenen Örgütler ve Liderlik Süreci Bağlamında bir Örnek Olay Çalışması” Sosyal Bilimler Dergisi, 9(1), 15-36.
5. **Senge P. M.** 1990. “The Fifth Discipline, The Art and Practice of the Learning Organization” New York, NY: Currency Doubleday.
6. **Lindemann U.** 2016. “Wissensmanagement” Handbuch – Produktentwicklung, 4. HAN-SER, ISBN:978-3-446-44518-5, 247-257.
7. **Probst G., Raub S., Romhardt K.** 2010. “Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen” Gabler Verlag, Wiesbaden.
8. **Davenport T., Jarvenpaa S., Beers M.** 1995. “Improving Knowledge Work Process” Center for Business Innovation.
9. **Allweyer T.** 1998. “Knowledge Process Redesign” IAO-Forum, Innovatives Wissensmanagement.
10. **Remus U.** 2002. “Wissensorientierte Unternehmensführung” Universität Regensburg.
11. **Heisig P.** 2005. “Integration von Wissensmanagement in Geschäftsprozesse” TU Berlin.
12. **Gronau N., Fröming J.** 2006. KMDL Eine semiformale Beschreibungssprache zur Modellierung von Wissenskonversionen. WIRTSCHAFTSINFORMATIK, S. 49–360.
13. **Alavi L.** 2001. “Review: Knowledge Management and Knowledge Management Systems: Conceptual Foundations and Research Issues.
14. **Snowden D.** 2002. “Complex acts of knowing: Paradox and descriptive self-awareness”. Journal of Knowledge Management, 6(2), 100–111.
15. **Molenda P., Jugenheimer A., Haefner C., Oechsle O., Karat R.** 2019. “Methodology for the visualization, analysis and assessment of information processes in manufacturing companies” Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA, Bayreuth, Germany.
16. **Durugbo C. M., Tiwari A., Alcock J. R.** 2010. “Managing Information Flows for Product-Service Systems Delivery” School of Applied Sciences, Cranfield University, Cranfield, United Kingdom.
17. **Altuğ N.** 2017. “İşletmelerde Yeni Ürün Geliştirme Çalışmaları ve Başarı Faktörleri” Balkan ve Yakın Doğu Sosyal Bilimler Dergisi, 20.
18. **Wilmschurst J.** 1988. “The Fundamentals and Practice of Marketing” Heinemann Professional Publishing Ltd, Oxford.
19. **Evans R. J, Berman B.** 1992. “Marketing” MacMillan Publishing Company. 5. Edition, USA.
20. **Paksoy H. M.** 2017. “İşletmelerin Satışa Sunacağı Yeni Ürünlerin Pazarda Tutunmasını Etkileyen Faktörler”, 68,70.
21. **Walley K.** 1998. “Competition: What does it really mean?” The TQM Magazine, 10, 186–189.
22. **Kahn B. K.** 2005. “The PDMA Handbook of New Product Development”, 3,339.
23. **Randermann M., Blu T., Jochem R., Stark R.** 2020. “Literature review of quality



- attributes for collaborative product development”, Journal of Mechanical Engineering Science, 10.1177/0954406220941544
24. **Stark J.** 2016. “Product Lifecycle Management (Volume 2)”. 10.1007/978-3-319-24436-5.
  25. **Eigner M.** 2014. “Product Lifecycle Management – An Introdution”, International PLM Workshop “The Engineering Backbone for Product Development”, 13 – 14 November 2014, Izmir / Turkey.
  26. **Sayer S., Ülker A.** 2014. “Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi” Mühendis ve Makine Dergisi, cilt 55,sayı:657, sf 57-64.
  27. **Haines S.** 2009.“The Product Manager’s Desk Reference”, McGraw-Hill.
  28. **Crawford M., Di Benedetto A.** 2008.“New Products Management”, Ninth Edition, McGraw-Hill International Edition.
  29. **Ringman T.** 1996.“Windows of Opportunity: Timing and Entry Strategies”,International Management and Data Systems, 26.
  30. **Cooper G. R. , Kleinschmidt E. J.** 1994. “Determinants and Timeliness in Product Development”, Journal of Product Innovation Management, 381.
  31. **Bayus B. L.** 1997.“Speed to Market and New Product Performance” Trade-offs,Journal of Product Innovation Management, 486.
  32. **Kulwant S., Unny M., Johann C. K., Riedel H.** 1994. “Time to Market,” Integrated Manufacturing Systems 5, no. 1: 14–22.
  33. **Ötleş S., Atalay S., Güneş S., Ertekin F., Yıldız H., Sayer S., Özden H., Alver N., Yeşilay R.B., Bulut H.** 2015.“Ürün Yaşam Döngüsü Yönetimi (PLM)” Plastik & Ambalaj Dergisi.
  34. **Bertoni M., Johansson C., Larsson T.C.** 2011. “Methods and Tools for Knowledge Sharing in Product Development” edited by Monica Bordegoni, Caterina Rizzi. Innovation in Product Design, ISBN:978-0-85729-774-7.
  35. **Ötleş S.,Yüce C.** 2021. “Havacılık ve Savunma Sanayi için PLM” Otomasyon Dergisi. Sayı:57, 108-113.
  36. **Seidenschwarz, W.** 2008. “Marktorientiertes Prozessmanagement”, 2. Auflage, München, 621
  37. **Akman S., Ötleş S.** 2019. “Neden firmalar PLM’e yatırım yapmalıdır?” Plastik & Ambalaj Dergisi. Temmuz Ağustos sayısı, 58–63.

# Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği

Ali Murat Ateş<sup>1\*</sup>, Özer Kestane<sup>2</sup>, Koray Ülgen<sup>3</sup>

## ÖZ

Enerjide dışa bağımlılığın giderek arttığı ülkemizde en yoğun tüketim bina sektöründe olmaktadır. Bu sebeple binalarda enerji verimliliğini artıracak çözümlerin bir an önce uygulamaya geçmesi gerekmektedir. Bu amaç doğrultusunda oluşturulan bu çalışma kapsamında, Manisa Celal Bayar Üniversitesi bünyesinde hizmet veren Köprübaşı Meslek Yüksekokul binası irdelenerek enerji tasarruf performansı araştırılmıştır. Binanın mevcut durumunun davranışını belirlemek amacıyla yıl boyunca ölçümler yapılarak enerji kullanım düzeyi belirlenmiştir. Daha sonra önerilen iyileştirmeler sonucunda nasıl bir enerji tasarrufu sağlayacağını belirlemek amacıyla, bilgisayar tabanlı enerji modellemesi yapılmıştır. Simülasyon sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak, binanın enerji tasarruf potansiyeli ve iyileştirme sonucunda nasıl bir davranış göstereceği hesaplanmıştır. Hem ölçüm verilerinden hem de modelmeden elde edilen veriler doğrultusunda, mevcut bina yıllık bazda, 90,40 kWh/m<sup>2</sup>yıl enerji tüketirken, önerilen iyileştirmeler sonucunda 55,54 kWh/m<sup>2</sup>yıl enerji tüketir hale gelmiştir. Yani, yaklaşık %40 oranında enerji tasarrufu sağlama potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Binanın mevcut durumdaki kullanım düzeyine göre sera gazı emisyonu 74,90 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerinde iken, önerilen iyileştirmeler ve bina çatısında hâlihazırda mevcut olan FV-GES'in desteğiyle bu değer 12,61 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerine kadar düşeceği hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji analizi, Bina enerji modellemesi, Performans değerlendirme, Enerji yoğunluğu yaklaşımı

## Energy Performance Evaluation of University Buildings: MCBU Köprübaşı Vocational School Example

### ABSTRACT

In Turkey, where foreign dependency in energy is increasing, the most intensive consumption is in the building sector. For this reason, solutions that will increase energy efficiency in buildings should be implemented as soon as possible. Within the scope of this study, created for this purpose, the energy saving performance was investigated at the Köprübaşı Vocational School building serving within the Manisa Celal Bayar University. In order to determine the behaviour of the current state of the building, the level of energy use was determined by making measurements throughout the year. Then, computer-based energy modelling was carried out to determine how to save energy as a result of the proposed improvements. Based on the data obtained as a result of the simulation, the energy saving potential of the building and how it will behave as a result of the improvement have been calculated. In line with the data obtained from both measurement data and modelling, while the current building consumed 90.40 kWh/m<sup>2</sup> year on an annual basis, it became 55.54 kWh/m<sup>2</sup>year as a result of the proposed improvements. In other words, it has been determined that it has the potential to save energy approximately 40%. While the greenhouse gas emission is 74.90 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>year according to the current usage level of the building, it has been calculated that this value will decrease to 12.61 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>year with the support of the proposed improvements and PV-SPP currently available on the building roof.

**Keywords:** Energy analysis, building energy modelling, performance evaluation, energy density approach

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 10.04.2021

Kabul/Accepted : 16.06.2021

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Bilgisayar ve Öğretim Tek. Eğitimi Böl., Demirci, Manisa, murat.ates@cbu.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2815-1404

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Buca, İzmir, ozker.kestane@deu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6092-2881

<sup>3</sup> Ege Üniversitesi, Güneş Enerjisi Enstitüsü, Bornova, İzmir, koray.ulgen@ege.edu.tr, ORCID: 0000-0002-9560-1727





## EXTENDED ABSTRACT

Continuous increase in energy consumption and meeting this need with fossil fuels that increase carbon emissions takes us towards an unsustainable future. Today, it is observed that energy consumption is constantly increasing in the building sector.

In accordance with the laws and regulations enacted to reduce the energy consumption in buildings, improvement methods have been determined according to points of building energy consumption in Turkey. At the same time, the classification method for whole buildings according to energy consumption, environmental interaction and renewable energy usage level is defined. A notice was issued determining the implementation principles of “Energy studies in public institutions and Efficiency Increasing Project (EIP)” in 2011. In this context, all official institutions have been obliged to implement the notice.

Within the scope of this study, Köprübaşı Vocational School building, whose construction was recently completed, was selected as the reference building. The building has been studied by measuring its energy consumption. Improvement scenarios were created based on the findings obtained. These scenarios,

Scenario 1: The insulation properties of opaque components were increased. The average heat transfer coefficient ( $U_{avg}$ ) of the model building has been reduced from  $0.89 \text{ W/m}^2\text{K}$  to  $0.784 \text{ W/m}^2\text{K}$ . For this purpose, the insulation thickness on the walls of the model building was taken into account as 10 cm.

Scenario 2: In addition to S1, the heat transfer coefficient of the transparent components has been reduced. The heat transfer coefficient ( $U_w$ ) of the windows of the model building has been accepted as  $1.2 \text{ W/m}^2\text{K}$  instead of  $2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Scenario 3: In addition to S2, the solar control and transparency rate has been reduced. The lighting system of the model building was designed by connected the daylight automation system.

Scenario 4: In addition to S3, the existing air conditioning system has been changed.

The energy performance of Köprübaşı Vocational School building can be easily improved in terms of air conditioning. Considering the capacity of the Photovoltaic Solar Power Plant installed on the roof of the building, it will be very useful to air-condition the building with a heat pump. In this case, a high rate of reduction in greenhouse gas emissions created by coal used for heating will be achieved.

When the scenarios proposed in the simulation were considered in terms of implementation, the energy density of the building would be reach approximately  $55.54 \text{ kWh/m}^2$  year from  $90.4 \text{ kWh/m}^2$  year, which would move the building to a higher class in terms of energy efficiency.

The annual emission value per usage area will decrease from  $74.90 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{year}$  in total to  $12.61 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2\text{year}$  because of the improvements in the building, which has a very high emission in terms of greenhouse gases. This result would make the building environment friendly.

As a result, it has been determined that the Köprübaşı Vocational School building has a significant energy saving potential, and the energy consumption, energy costs and  $\text{CO}_2$  emission amounts of the building can be reduced by using renewable energy technologies.



## GİRİŞ

Enerji ihtiyacının sürekli artması ve bu ihtiyacın karbon emisyonunu artıran fosil yakıtlarla karşılanması bizi sürdürülemez bir geleceğe doğru götürmektedir. Bir yandan artan enerji tüketimini karşılarken diğer yandan da karbon emisyonunu azaltmak amacıyla, yenilenebilir enerji santrallerinin enerji üretimindeki payı giderek artmaktadır. Ancak rüzgar türbinlerinin sürekli bakım ve onarım ihtiyacı olması [1] nedeniyle güneş, biyoyakıt, hidrotermal enerji gibi teknolojilerin potansiyeli artmaktadır [2]. Ayrıca kentlerde güneş enerjisinin etkin kullanılması için de çeşitli yöntemler bulunmaktadır [3].

Dünyadaki enerji talebinin 2010 ile 2040 yılları arasında, önceki 30 yıla göre, %35 artacağı öngörülmüştür. Bu artışın en büyük payının yaşam alanları olduğu, ancak gerekli önlemler alınırca %30 ile %80 arasında enerji talebinin azalma ihtimalinin olduğu ortaya konmuştur [4].

Bu nedenle, enerji açısından hem kendi kendine yetebilen hem de çevreye duyarlı enerji kullanımını desteklemek amacıyla, birçok ülkede olduğu gibi Türkiye’de de 2007 yılında “Enerji Verimliliği “Kanunu” çıkarılmıştır. Bu kanunun amacı; enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır [5].

Enerji Verimliliği Kanununun bina sektörüne uygulamasını sağlayacak olan ve 2008 yılında “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği” adıyla çıkarılan yönetmeliğe göre, binaların bütün enerji kullanımlarının ve karbon emisyonlarının değerlendirilmesi ve çevrenin korunması üzerine önlemler alınması zorunlu hale getirilmiştir [6].

Bu yönetmelik kapsamında kullanım amacına göre binalarda enerji tüketiminin azaltılması amaçlanırken, özellikle de ülkelerin en eğitimli kesimlerinin bulunduğu üniversitelerin kendi binalarındaki enerji tüketimini iyi yönetmesi ve olabildiğince karbon emisyonunu azaltacak şekilde planlaması, temiz bir gelecek için topluma iyi örnek olmalarını sağlayacaktır. Ancak, yüksek öğretim binalarının enerji yönetimi metodolojisi konusunda bir boşluk bulunduğu ve bu durumun üniversite binalarındaki enerji verimliliği konusunda bir engel oluşturduğu vurgulanmıştır [7].

Ulusal ve uluslararası literatürlerde mevcut olan birçok çalışmada belirtildiği gibi eğitim kurumlarında enerji verimliliğinin, kullanıcıların konforunun önüne geçmesi gerektiği de özellikle vurgulanmıştır [8-12]. Özellikle bina içi termal konforun sağlanabilmesi için oluşturulan sistemlerin ve bunların enerji tüketimi ile sağladığı konfor düzeylerinin belirlenmesi üzerine gerçekleştirilen çalışmalara göre, Assiut Üniversitesi Mühendislik Fakültesi konferans salonunda, oluşturulan çözümün düzeyini belirlemek için 331 katılımcı üzerinde bir anket çalışması yapılmış ve anket sonucuna göre iç mekan soğutma ve enerji verimliliği üzerine değerlendirmeler ya-



pılmıştır [10]. Bir başka çalışmada İran'ın üç kentinde, dokuz devlet okulunun bina enerji performansı simüle edilmiştir. Pencerelerde çıkıntılar eklemek haricinde, tüm senaryolarda ısıtma için doğal gaz kullanımının azaltıldığı sonucu elde edilmiştir. Yapılan değerlendirmeler doğal gaz kullanımının Ilam'da %79, Yazd'da %74 ve Tebriz'de %63 oranında önemli bir düşüş olacağını göstermektedir [13]. Sheffield Üniversitesindeki iki eğitim binasının enerji, termal konfor ve çevre stratejisi arasındaki ilişkilerin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmaya göre tasarımcıların daha rahat, düşük enerjili çalışma alanları sunmak için aktif ve pasif tasarım ilkelerini nasıl kullanabileceği vurgulanmıştır. Çalışmada kişi başına düşen enerjinin tahmini ve değerlendirilmesinin enerji performansı ile konfor arasındaki ilişkide önemli bir rol oynayabileceği gösterilmiştir [14].

Kampüs binalarının enerji tüketimini ve yönetimi ile ilgili birçok uygulama mevcuttur. Bu uygulamaların genel yapısı bina talep yükleri, enerji kullanım düzeyleri ve enerji denetim modellerini içermektedir. Buna göre, Zagreb Üniversitesinde 23 fakülte binasının enerji denetimi ve enerji sertifikası sürecinin gelişimi sergilenmiştir. Çalışma sonuç olarak enerji tasarruflu iyileştirme önlemleri ve karlılık hesaplamaları önerisinde bulunmaktadır [15]. Norveç'te bir üniversite kampüs binasının talep yükü ve enerji kullanımının özelliklerini ortaya koyan bir metodoloji geliştirilmiştir. Çalışmada kampüsün elektrik, ısıtma ve su kullanımının uzun vadeli ve gerçek zamanlı verileri analiz edilmiştir. Bu analize göre, işletme optimizasyonu potansiyeli yüksek olan binaları belirlemek için toplam kampüs enerji kullanımına bireysel tesadüfi katkı küme analizi yöntemi kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiş, şehirlerin ve diğer kentsel enerji sistemlerinin enerji planlaması için bu yöntemin kullanılabilirliği belirtilmiştir [16]. İngiltere'de 5 farklı yükseköğretim kurumunda 12 ay süren bir çalışmada binaların faaliyetleri, inşaat tarzları, enerji sistemleri ve işletim özellikleri değerlendirilmiştir. Karbon emisyonunu azaltmak için olası senaryolar belirlenerek en etkili müdahale ile yaşam döngüsü değerlendirmesine göre karbon emisyonunun %20-29 arasında, enerji tasarrufunun ise %32-64 arasında azaltılacağı belirlenmiştir [17]. Başka bir çalışmada 1985 yılı öncesi inşa edilmiş, İngiliz ve Galler üniversite binaları için yaşam döngüsü karbon modelleri dikkate alınarak bir veritabanı oluşturulmuştur. Bu veritabanı enerji verileri kullanılarak kalibre edilmiş ve karbon azaltma müdahalelerini ve yeni inşaa planlarını simüle etmek için kullanılmıştır. Yeni inşa edilecek binalar için ortalama yaşam döngüsü karbon tasarrufunun %37-54 arasında değişeceği sonucunu elde etmişlerdir [18]. Stockholm'deki Albano üniversite kampüsünde gerçekleştirilen bir çalışmada, enerji sistemi tasarımına çok amaçlı bir optimizasyon yaklaşımı uygulanmıştır. Çalışmada, çevre, ekonomi ve ekserji odaklı senaryolar temelinde dört optimal çözüm önerilmiştir [19]. Kampüs binalarının toplam enerji tüketiminin kullanım noktalarına göre (ısıtma, soğutma, havalandırma, sıcak su eldesi, aydınlatma) analizi amaçlı birçok sistematik yaklaşım geliştirilmiş, enerji tüketiminin çevresel etkileri detaylı bir şekilde ortaya konulmuştur [20-28].



Ulusal düzeyde binalarda enerji tüketimi ve analizi ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar, kaynak tüketimi, sistem kullanımı ve performans değerlendirilmesi açısından detaylandırılmıştır. Bu kapsamda yapılan çalışmalarda enerji ve ekserji analizi, performans değerlendirmesi temel odak noktasını oluşturmaktadır [29-32].

Ülkemizde Ege Üniversitesi UBE binasında [33], İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Fakültesi'nde [34], Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi'nde [35], MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu'nda [36] binaların enerji analizine yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir. Bu çalışmalar kapsamında dikkate alınan binalar enerji kullanım düzeylerine, enerji tüketim noktalarına, çevresel etkileşime, aktif ve pasif iyileştirme alternatiflerine göre değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında Manisa Celal Bayar Üniversitesi Köprübaşı Meslek Yüksekokulu binası örnek olarak alınmış, yıllık enerji tüketim alışkanlığı belirlenmiş, BEP yönetmeliğine göre standart sınıfı tayin edilmiş ve enerji tüketimini iyileştirmek amacıyla alternatif önerilerinde bulunulmuştur.

## 2. ÇALIŞMA ALANI

### 2.1 Coğrafi Konumu ve Bina Özellikleri

Köprübaşı MYO binası ile ilgili konum, yönelim ve çevresel bilgiler Tablo 1'de verildiği gibidir [36].

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Köprübaşı Meslek Yüksekokulu binası, 2 farklı kütleden oluşmaktadır. Binanın toplam oturma alanı 1.486 m<sup>2</sup> olup, iki kattan oluşmaktadır. Binanın toplam kullanım alanı 2.972 m<sup>2</sup>, brüt hacmi 11.294 m<sup>3</sup>'tür. Binanın toplam yüzey alanı 1.647,38 m<sup>2</sup> olup bunun 473,81 m<sup>2</sup>'si cam yüzey alanı olarak kullanılmaktadır. Yani, binanın yüzey alanının %29'u pencere olarak oluşturulmuştur (Şekil 1).

Binanın ısıtma enerjisi ihtiyacı 350.000 kcal/h (407 kW) gücünde kömür yakıtlı bir yakma sisteminden karşılanmaktadır. Binanın soğutma enerjisi ihtiyacı ise, 108 kW toplam kurulu gücüne sahip 18 adet duvar tipi klima sistemi ile karşılanmaktadır.

**Tablo 1.** Köprübaşı MYO Binasının Bilgileri

Konum	Enlem	38,457381°
	Boylam	27,214422°
	Rakım	250 m
Yönelim	Ana bina Kuzey-Güney doğrultusunda, Güneyden Doğuya doğru 20° açı ile. İdari bina Doğu-Batı doğrultusunda. Doğudan Kuzeye doğru 20° açı ile. (Azimut -20°)	
Çevresel etki	Dört tarafı açık, yakın yapıların ve ağaçların gölge etkisi yoktur.	



Şekil 1. Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Binasının Cephe Görünüşleri

Bina çatısına 30kWp gücünde bir Fotovoltaik (FV) Güneş Enerji Santrali (GES) kurulmuş ve 2018 yılı haziran ayında yasal süreçleri tamamlanarak devreye alınmıştır.

Köprübaşı Meslek Yüksekokulu binası 2016 yılı içerisinde bitirilmiş olup, binanın mevcut durumunda yapı elemanlarının toplam ısı geçiş katsayıları ve TS 825'in öngördüğü değerler [37] Tablo 2'de verildiği gibidir. Binanın cephesinde opak yüzeylerde 4 cm kalınlığında ısı yalıtım levhası kullanılarak TS 825 standardına göre mantolama uygulaması gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda binanın saydam yüzeyleri ise TS 825 standardına uygun olan çift camlı PVC doğrama sistemi ile kaplanmıştır.

Tablo 2. Binanın Yapı Elemanlarının Toplam Isı Geçiş Katsayıları ve Özgül Isı Kayıpları

Yapı Elemanı Tipi	U (W/m <sup>2</sup> K)		Alan (m <sup>2</sup> )	UA (W/K)
	Mevcut	TS 825		
Duvar	0,667	0,600	767,51	511,67
Betonarme yapı elemanları	0,833	0,600	381,63	318,03
Tavan	3,191	0,400	1.486,00	4.741,23
Taban	1,044	0,600	1.486,00	775,89
Pencere	2,400	2,400	473,81	1.137,14
Kapı	4,000	-	24,43	97,72
H <sub>T</sub> (W/K)				7.581,68
Havalandırma, H <sub>V</sub> (W/K)				2.087,13
H (W/K)				9.668,81



## 2.2 İklimsel Veriler

Manisa'nın Köprübaşı ilçesinde aylık ortalama yatay yüzeyde toplam güneş ışıını (H<sub>T</sub>), yatay yüzeyde direkt güneş ışıını (H<sub>B</sub>), yatay yüzeyde yayılı güneş ışıını (H<sub>D</sub>), ortam sıcaklığı (T<sub>amb</sub>), rüzgâr hızı (V<sub>w</sub>) ve bağıl nem (R<sub>h</sub>) değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

**Tablo 3.** Köprübaşı'nın Aylık Ortalama İklimsel Verileri

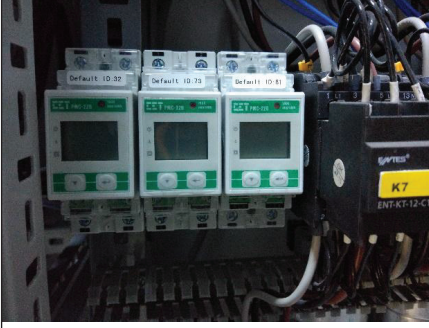
Aylar	H <sub>T</sub> (Wh/m <sup>2</sup> )	H <sub>B</sub> (Wh/m <sup>2</sup> )	H <sub>D</sub> (Wh/m <sup>2</sup> )	T <sub>amb</sub> (°C)	V <sub>w</sub> (m/s)	R <sub>h</sub> (%)
Ocak	63,15	23,08	40,21	3,13	3,72	88,45
Şubat	131,91	77,60	54,34	4,77	3,40	79,19
Mart	205,15	144,68	60,52	7,47	3,39	75,25
Nisan	222,85	132,98	89,92	10,46	3,08	73,47
Mayıs	265,66	161,98	103,73	17,01	2,71	65,23
Haziran	289,93	205,96	84,00	22,37	3,20	59,66
Temmuz	318,29	248,40	69,89	24,42	3,36	46,92
Ağustos	295,52	231,11	64,41	26,09	3,99	42,49
Eylül	230,93	169,10	61,84	21,85	3,20	46,02
Ekim	165,94	115,95	50,08	17,63	2,56	54,72
Kasım	104,08	62,56	41,61	12,64	2,68	65,81
Aralık	81,76	46,28	35,57	5,44	3,11	75,74
Yıllık Ort.	197,93	134,97	63,01	14,44	3,20	64,41

2019 yılında, bölgedeki yatay yüzeydeki ışıının aylık ortalaması 63,15 Wh/m<sup>2</sup> (Ocak) ile 318,29 Wh/m<sup>2</sup> (Temmuz) arasında değişmekle beraber yıllık ortalama ışıını değeri 197,93 Wh/m<sup>2</sup> olarak gerçekleşmiştir. Aylık ortalama en düşük ve en yüksek sıcaklıklar ile yıllık ortalama sıcaklık değeri de sırasıyla 3,13°C, 26,09°C ve 14,44°C olarak kayıt altına alınmıştır. Yıllık ortalama rüzgâr hızı 3,20m/s ve bağıl nem değeri de %64,41'dir.

## 2.3 Enerji Ölçümleri

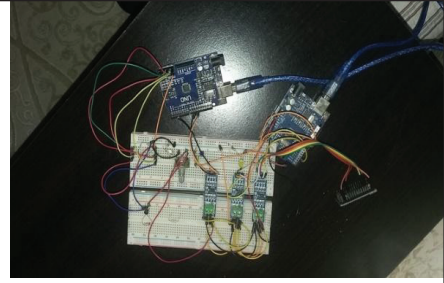
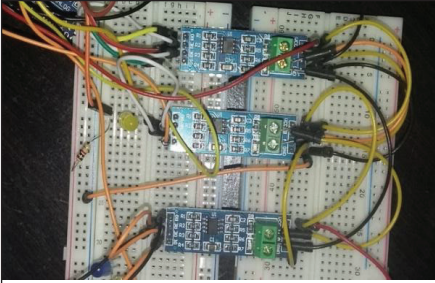
Köprübaşı MYO binasının Binalarda Enerji Performans Yönetmeliğine göre öngörülen yıllık bazda enerji tüketimini belirlemek amacıyla, proje kapsamında bir ölçme sistemi tasarlanmıştır. Bu sistem elektriksel tüketimini ölçmek amacıyla 18 farklı noktanın tüketimini ölçmek için enerji analizörleri kullanılmıştır (Şekil 2). Her bir kanaldan, binadaki mevcut klimaların enerji tüketim düzeyleri ölçülmüştür. Cihazlar arasına RS-485 protokolünü kullanan kablolama yapılarak tüm noktadaki tüketimler bir veri kaydedicide (bilgisayar) toplanmıştır.





**Şekil 2.** Enerji Analizörleri ve Bağlantı Noktaları

Ayrıca, sıcaklığın mekân içerisindeki dağılımını belirlemek amacıyla, bina modelinin geliştirilmesinde anahtar derecede önemli 20 mekânda düşey yönde sıcaklık dağılımını analiz etmek için, diz, göğüs ve baş hizasında ölçüm yapacak bir ölçme düzeneği geliştirilmiştir. Bunun için her biri sekiz kanallı olan nano Arduino'lar kullanılarak sistem oluşturulmuştur (Şekil 3).



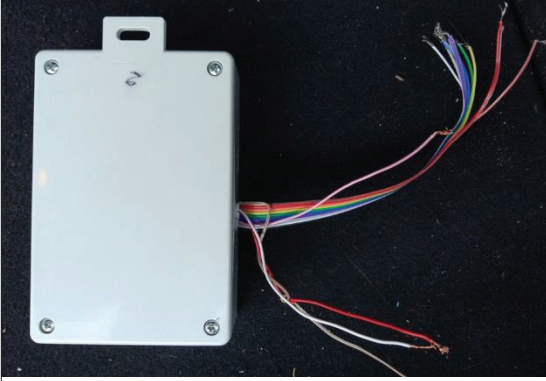
**Şekil 3.** Sıcaklık ve Aydınlık Düzeyi Ölçüm Sistemi

Aynı zamanda bu ölçüm sistemi, mekânları ısıtmak için kullanılan radyatörlerin etkinliğini belirlemek amacıyla, radyatörün hem giriş hem de çıkış hattında sıcaklık ölçümü gerçekleştirilmiştir. Binanın ısı performansının yanında aydınlatma sisteminin de analizini yapabilmek için, kapalı, yarı açık ve açık gökyüzü koşulları için, mekân içerisindeki aydınlık seviyeleri de kayıt altına alınmalıdır.

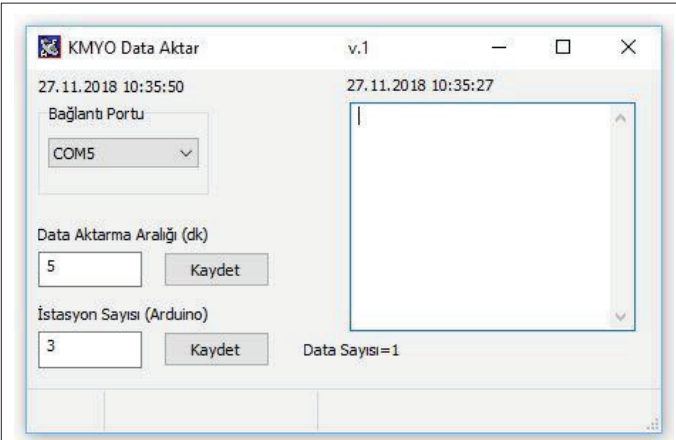
Bina içindeki ısı dağılımı ve aydınlık seviyesini tespit etmek amacıyla 100 noktadan sıcaklık ve 20 noktadan aydınlık seviyesi ölçümü yapılabilen bir sistem tasarlanmıştır. Tasarlanan ısı ve aydınlık seviyesi ölçüm sistemine ait deney fotoğrafları ve kutuya yerleştirildikten sonraki hali Şekil 4'te verilmiştir. Her birinde 5 adet ısı ve bir adet ışık sensörü bulunan toplam 20 adet cihaz RS-485 protokolü üzerinden haberleşecek şekilde tasarlanmıştır.

Tüm ölçüm verilerini aynı bilgisayar üzerine toplamak için de bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılımın ekran görüntüsü Şekil 5'te görüldüğü gibidir. Yazılım, istenilen

periyotlarda, ısı ve aydınlık seviyesi ölçen modüllerdeki toplanan verileri RS-485 protokolü üzerinden alarak bilgisayarda MSSQL Server üzerinde oluşturulmuş olan veri tabanına depolamaktadır. Ölçüm periyotları, yazılım üzerinden, istenilen aralıkta ayarlanabilmekte olup buradaki sistemde 5 dakika olarak belirlenmiştir. Bu durumda binadaki istenen noktadaki ısı ve aydınlık seviyesi bilgileri 5'er dakikalık ortalamalar şeklinde ölçülmüş ve bilgisayar sisteminde depolanmış olacaktır. Binadaki enerji analizörleri de 5 dakikalık ortalamalar şeklinde kayıt vermektedir.



**Şekil 4.** Ölçüm Sisteminin Son Hali



**Şekil 5.** Ölçme Sisteminden Veri Toplama Amaçlı Geliştirilen Yazılımın Görüntüsü

## 2.4 Enerji Üretim ve Tüketim Değerleri

Model binanın 2019 yılında kaydedilen ısı ve elektrik enerjisi tüketimi ve çatıda bulunan 30kWp gücündeki çatı üstü PV sistemi tarafından üretilen elektrik enerjisi verileri Tablo 4'te verilmiştir.



**Tablo 4.** Aylık Enerji Tüketim Değerleri

Aylar	Tüketim				Üretim
	Kömür		Elektrik	Toplam	Elektrik
	(kg)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ocak	9.367	59.899	4.381	64.281	1.423
Şubat	7.722	49.384	3.714	53.098	2.725
Mart	5.197	33.236	2.864	36.100	4.323
Nisan	2.555	16.336	2.500	18.836	4.247
Mayıs	0	0	1.715	1.715	4.665
Haziran	0	0	2.863	2.863	4.928
Temmuz	0	0	2.374	2.374	5.685
Ağustos	0	0	2.400	2.400	5.332
Eylül	0	0	2.154	2.154	4.426
Ekim	0	0	2.159	2.159	3.650
Kasım	1.762	11.266	2.341	13.607	2.265
Aralık	8.398	53.703	3.896	57.598	1.956
Toplam	35.000	223.825	33.360	257.185	45.625

Binada tüketilen elektrik enerjisinin aylık dağılımı Tablo 5'te verilmiştir.

**Tablo 5.** Elektrik Tüketiminin Dağılımı

Aylar	İklimlendirme (kWh)	Aydınlatma (kWh)	Diğer (kWh)	Toplam (kWh)
Ocak	1.891	442	2.049	4.381
Şubat	1.594	352	1.768	3.714
Mart	917	321	1.627	2.864
Nisan	866	245	1.389	2.500
Mayıs	570	145	1.000	1.715
Haziran	638	140	2.185	2.863
Temmuz	765	2	1.606	2.374
Ağustos	1.212	6	1.182	2.400
Eylül	1.259	29	867	2.154
Ekim	374	270	1.515	2.159
Kasım	559	357	1.424	2.341
Aralık	1.381	460	2.055	3.896
Toplam	12.024	2.670	18.667	33.360



### 3. YÖNTEM

Literatürde binaların ısıtma ve soğutma enerjisi ihtiyacını belirlemek için birçok yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşımlar, statik, yarı dinamik ve dinamik çözüm algoritmalarını dikkate almaktadır. Hesap kolaylığı açısından statik yaklaşım olarak ifade edilen, aylık ısıtma ve soğutma enerji ihtiyaçlarının belirlenmesi yöntemi bu çalışmada dikkate alınmıştır.

#### 3.1 Isıtma Enerjisi İhtiyacı

Bir binanın aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı, binanın ısıtma yükü ile ısı kazançları arasındaki fark olarak dikkate alınır. Binanın ısı kazançlarının (iç ve güneş), aylık ısıtma yükünü karşılama oranı olarak ifade edilen Aylık Kazanç Kullanım Faktörünün de dikkate alınması gerekmektedir. Aylık kazanç kullanım faktörü, ısıtma yükünü azaltmak için ısı kazançlarının sadece bir bölümünün kullanıldığını göstermektedir. Kazanç kullanım faktörü çoğunlukla bina yapım türüne ve bina formuna bağlıdır.

Yukarıdaki bilgilerin ışığında, Şekil 6'da verilen akış diyagramına göre binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı, aylık enerji ihtiyaçlarının toplamıdır ve değer eşitlik (1-6) yardımıyla hesaplanabilir.

Burada,

$Q_{yıl}$ , yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ),

$$Q_{yıl} = \sum_{i=1}^n Q_{ay} \quad (1)$$

$$Q_{ay} = (H * \Delta T - \eta_{ay} * (\phi_{iç} + \phi_s))t \quad (2)$$

$$H = H_T + H_V \quad (3)$$

$$\eta_{ay} = 1 - e^{(-1/KKO_{ay})} \quad (4)$$

$$KKO_{ay} = (\phi_{iç} + \phi_s)/(H * \Delta T) \quad (5)$$

$$\phi_s = \sum r_{i,ay} * g_{i,ay} * I_{i,ay} * A_i \quad (6)$$

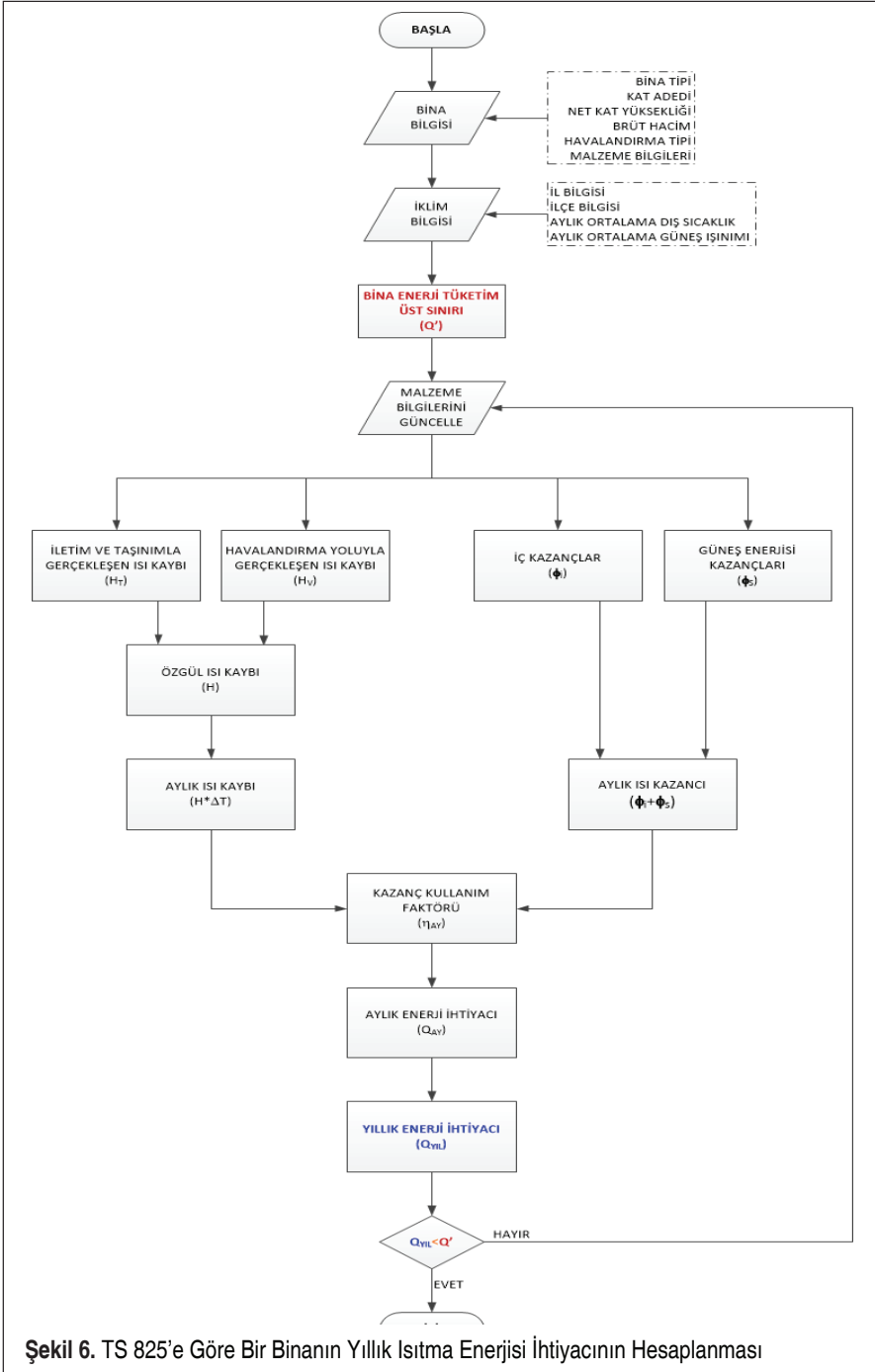
$Q_{ay}$ , aylık ısıtma enerjisi ihtiyacı (MJ),

H, aylık toplam ısı kaybı (W/K),

$H_T$ , iletim ve taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı (W/K),

$H_V$ , havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybı (W/K),

$\Delta T$ , iç ve dış ortamlar arasındaki sıcaklık farkı (°C)





$\phi_i$ , aylık iç ısı kazançları (W),

$\phi_s$ , aylık güneş enerjisi kazançları (W),

$\eta_{ay}$ , aylık kazanç kullanım faktörü

KKO<sub>ay</sub>, kazanç kullanım oranı,

Binanın aylık ısı kaybı, özgül ısı kaybı ile iç ortam ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkına alınarak hesaplanır. Bina özgül ısı kaybı ise, iletim ve taşınım yoluyla oluşan ısı kaybı ile havalandırma yoluyla oluşan ısı kaybının toplamıdır. Bina iç ortam sıcaklığı ise, kararlı hal durumu göre denge noktası sıcaklığı olarak dikkate alınmalıdır.

TS 825 standardında tanımlanan ve Şekil 6’da metodolojisi verilen hesap metoduna göre binanın yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının, binanın içinde bulunduğu iklim bölgesine göre maksimum düzeyde kaybedeceği ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değerinin altında olması gerekmektedir. Yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacının sınır değeri, yapının ısı kaybeden alanlarının toplamı ( $A_{top}$ ) ile binanın brüt hacminin ( $V_{brüt}$ ) oranına göre belirlenmektedir. Tespit edilen  $A_{top}/V_{brüt}$  oranı ve yapının bulunduğu derece gün bölgesi göz önüne alınarak sınır değerler hesaplanır.

Çalışmada dikkate alınan bina, TS 825’e göre 2.DG (derece-Gün) bölgesinde olup yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı sınır değeri eşitlik (7)’de verildiği gibi hesaplanabilir.

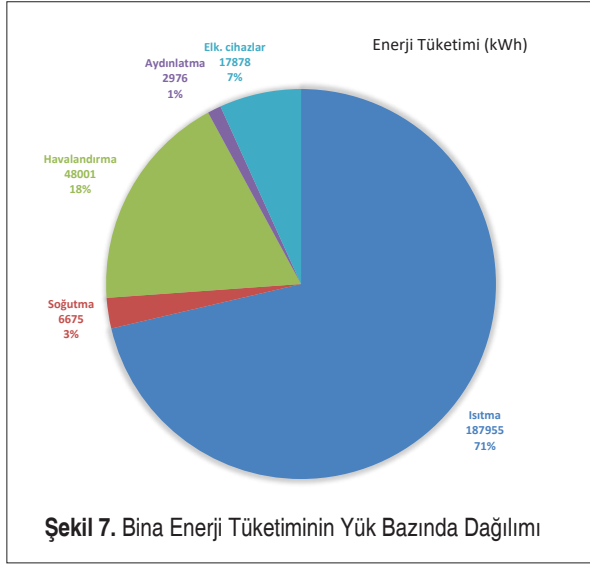
$$Q' = 70 * \left( \frac{A_{top}}{V_{brüt}} \right) + 24,4 \quad (7)$$

#### 4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Model binanın 2019 yılı iklim verileri dikkate alınarak Design Builder programı yardımıyla saatlik bazda simülasyonu yapılmıştır. Simülasyon sonucuna göre model binanın yıllık enerji tüketiminin, yük bazında yüzdelik dağılımı Şekil 7’de verilmiştir.

Şekil 7 incelendiğinde model binanın yıllık bazda tükettiği enerji miktarı 263.485 kWh olup, bu tüketim içerisinde kaynak bazında kömürün payı yaklaşık %89 civarındadır. Bu değer %71’i doğrudan ısı transferi yoluyla oluşan ısı kaybını karşılamak içindir. Geri kalanı ise, havalandırma ve infiltrasyon yoluyla kaybolan ısı kaybını dengelemek için harcanan miktardır. Model binanın enerji tüketiminin aylık değişimi Tablo 6’da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde, model binada en yüksek tüketimin ocak ayında gerçekleştiği açıkça görülmektedir. Ocak ayında toplam tüketimde ısıtma için harcanan enerjinin payı yaklaşık %76,7 kadardır. Isıtma amaçlı tüketilen enerjinin yıllık bazdaki payı ise yaklaşık %71 değerine erişmektedir. Bu bilgilerden anlaşılacağı üzere Köprübaşı



**Tablo 6.** Enerji Tüketiminin Yük Bazında Aylık Dağılımı

Aylar	Isıtma	Soğutma	Havalandırma	Aydınlatma	Diğer	Toplam
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Ocak	50.146		12.806	493	1.962	65.407
Şubat	41.371		10.566	393	1.693	54.023
Mart	27.716		7.078	357	1.558	36.710
Nisan	13.960		3.565	273	1.331	19.129
Mayıs	463		118	162	957	1.700
Haziran		1.002		45	2.092	3.140
Temmuz		1.202		3	1.539	2.743
Ağustos		1.905		7	1.132	3.044
Eylül		1.978		32	830	2.840
Ekim		588		301	1.451	2.340
Kasım	9.597		2.451	399	1.364	13.810
Aralık	44.703		11.416	513	1.968	58.600
Toplam	187.955	6.675	48.001	2.976	17.878	263.485

MYO binasının en temel enerji gereksinimi ısıtma enerjisi olarak karşımıza çıkmaktadır. Eğer binanın sızdırmazlığı ve enerji etkinlik düzeyi artırılacak olursa, toplamda ısıtmanın payı oldukça azalacaktır.



Binanın kullanım alanı başına yük bazlı enerji tüketimi oranları değerlendirilecek olursa, Tablo 7’den de açıkça görüleceği gibi en yüksek enerji yoğunluğu (66,07 kWh/m<sup>2</sup>yıl) ısıtma enerjisi kullanımındadır.

Köprübaşı MYO binasını enerji açısından iyileştirmek amacıyla model üzerinde bir takım senaryolar oluşturularak değerlendirmelerde bulunulmuştur. Enerji açısından iyileştirme senaryoları 4 farklı duruma göre oluşturulmuştur. Bunlar;

**Tablo 7.** Model Bina Enerji Tüketimi ve Enerji Yoğunluğunun Yük Bazında Dağılımı

Yükler	Tüketim	Enerji Yoğunluğu	Dağılım
	(kWh)	(kWh/m <sup>2</sup> year)	(%)
<b>Isıtma</b>	<b>187.955</b>	<b>66,07</b>	<b>71,33</b>
Soğutma	6.675	2,35	2,53
Havalandırma	48.001	16,87	18,22
Aydınlatma	2.976	1,05	1,13
Diğer	17.878	6,28	6,79
Toplam	263.485	92,61	100,00

- Senaryo 1: Opak bileşenlerin yalıtım özellikleri artırılmıştır. Mevcutta model binanın ortalama ısı geçiş katsayısı ( $U_{ort}$ ), 0,89 W/m<sup>2</sup>K’den 0,784 W/m<sup>2</sup>K değerine indirgenmiştir. Bunun için model binanın duvarlarında yalıtım kalınlığı 10 cm olacak şekilde dikkate alınmıştır.
- Senaryo 2: S1’e ek olarak saydan bileşenlerin ısı geçiş katsayısı azaltılmıştır. Mevcutta model binanın pencerelerinin ısı geçiş katsayısı ( $U_p$ ), 2,4 W/m<sup>2</sup>K yerine 1,2 W/m<sup>2</sup>K değeri kabul edilmiştir.
- Senaryo 3: S2’ye ek olarak, güneş kontrolü ve saydamlık oranı azaltılmıştır. Model binanın aydınlatma sistemi gün ışığı otomasyon sistemine bağlanarak tasarım yapılmıştır.
- Senaryo 4: S3’e ek olarak iklimlendirme sistemi değiştirilmiştir.

Oluşturulan senaryolara göre model binanın enerji tüketim değeri yaklaşık %40 oranında azalarak 263.485 kWh’den 158.011 kWh’e kadar düşmektedir. Bu değerlendirme sırasında senaryo 1 toplam tüketimi yaklaşık %11, senaryo 2 %26, senaryo 3 %1 ve senaryo 4 de yaklaşık %20 kadar iyileştirme sağlamıştır (Tablo 8).

Köprübaşı MYO binası için oluşturulan model binanın simülasyon sonuçlarına göre, her bir senaryo için binanın enerji tüketim yoğunlukları Tablo 9’da verildiği gibidir. Bu tablodan da anlaşılacağı üzere, mevcut durumda model binanın toplam enerji tüketimi açısından enerji yoğunluğu 92,58 kWh/m<sup>2</sup>yıl iken, yapılan iyileştirmeler sonucunda bu değer 55,52 kWh/m<sup>2</sup>yıl değerine kadar düşmüştür.

**Tablo 8.** Model Binanın İyileştirme Senaryolarına Göre Enerji Tüketim Değerleri

Yükler	Model Bina	S1	S2	S3	S4
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
Isıtma	187.955	165.588	137.771	137.771	95.971
Soğutma	6.675	5.881	4.893	4.893	4.893
Havalandırma	48.001	42.289	35.185	35.185	35.185
Aydınlatma	2.976	2.976	2.976	2.768	2.768
Diğer	17.878	17.878	17.878	17.878	19.194
Toplam	263.485	234.612	198.703	198.494	158.011

Model bina üzerindeki iyileştirme senaryolarına göre binanın ısıtma enerjisi tüketiminin toplam tüketimdeki payı %10 kadar azalmıştır. Ancak, iyileştirmelerin getirdiği ek tüketimler içerisinde havalandırma ihtiyacı ve mekanik iklimlendirme amaçlı elektrik tüketiminde bir artış gözlemlenmektedir. Mekanik iklimlendirme için tüketilen elektrik enerjisi miktarı, toplam elektrik enerjisi miktarına yaklaşık %7'lik bir ek getirmiştir.

**Tablo 9.** Senaryolara Göre Model Binanın Enerji Yoğunluğu Değişimi

Yük		Isıtma	Soğutma	Havalandırma	Aydınlatma	Diğer	Toplam
Model Bina	(kWh/m <sup>2</sup> yıl)	66,04	2,35	16,87	1,05	6,28	92,58
	(%)	71,33	2,53	18,22	1,13	6,79	100,00
S1	(kWh/m <sup>2</sup> yıl)	58,18	2,07	14,86	1,05	6,28	82,44
	(%)	70,58	2,51	18,03	1,27	7,62	100,00
S2	(kWh/m <sup>2</sup> yıl)	48,41	1,72	12,36	1,05	6,28	69,82
	(%)	69,34	2,46	17,71	1,50	9,00	100,00
S3	(kWh/m <sup>2</sup> yıl)	48,41	1,72	12,36	0,97	6,28	69,74
	(%)	69,41	2,46	17,73	1,39	9,01	100,00
S4	(kWh/m <sup>2</sup> yıl)	33,72	1,72	12,36	0,97	6,74	55,52
	(%)	60,74	3,10	22,27	1,75	12,15	100,00

Köprübaşı MYO binasının simülasyonu için dikkate alınan model bina ve simülasyon kriterlerinin ne derece etkin bir sonuç doğurduğu aslında, mevcut binanın gerçek tüketimleri dikkate alınarak yorumlanması gereken bir durumdur. Bu yüzden, mevcut binanın ölçülen enerji tüketimlerinin yüklerle dağılımının oluşturulması gerekmektedir.

Proje kapsamında kurulan enerji ölçüm sistemi sayesinde, klimaların ve binadaki prizlerden tüketilen elektrik enerjisinin tüketimi yıl boyunca saatlik bazda ölçülmüş-



tür. Aşağıdaki bölümde bu ölçüm değerlerine göre oluşturulan hesaplamalarda aydınlatma için öngörülen tüketim değeri bir model oluşturularak tahminlenmeye çalışılmıştır.

Ayrıca binanın ısıtılması için kullanılan kömür miktarları aylık düzeyde kg bazında bilindiği için hesaplamalarda aylık olarak dikkate alınmıştır.

Proje kapsamında değerlendirmesi gerçekleştirilen Köprübaşı MYO binasının hem gerçek enerji tüketim değerleri hem de Design Builder programında oluşturulan model binanın 2019 yılında ait Köprübaşı iklim koşulları altındaki simülasyon sonuçları daha önceki bölümlerde detaylı olarak verilmiştir.

Elde edilen simülasyon ve ölçüm sonuçlarına göre binanın toplam enerji tüketimindeki farklılığından kaynaklanan hata oranı yaklaşık %2,45 olarak hesaplanmıştır. Yük bazında kıyaslama yapıldığı zaman, oldukça yüksek farklılıklar görülmektedir. Bunun nedeni, simülasyon için seçilen kriterlerin ve kabullerin farklılıklar içermesidir.

Ancak yük bazlı enerji tüketiminden kaynaklanan hata oranlarının aslında toplam tüketim içerisindeki payının az olmasından dolayı çok da büyük önem kazanmamaktadır. Tüm enerji simülasyonları toplam tüketimi dikkate alarak sonuç ürettiği için hesaplanan hata oranı kabul edilebilir durumdadır (Tablo 10).

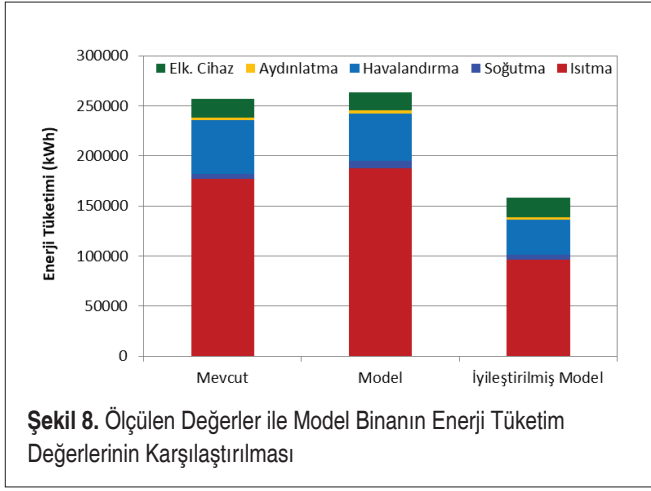
Köprübaşı MYO binasının enerji tüketimi açısından genel bir değerlendirme yapacak olursak, ölçüm sonuçlarına göre binanın yıllık toplamdaki tükettiği enerji 257.185 kWh olup, aynı değer simülasyonu gerçekleştirilen model bina için 263.485 kWh olarak gerçekleşmiştir. Model bina üzerindeki iyileştirmeler dikkate alındığında bu değer 158.011 kWh değerine kadar inmiştir (Şekil 8).

Ölçüm sonuçları ile model sonuçları arasındaki hata payı da dikkate alınarak mevcut

**Tablo 10.** Ölçülen Değerler ile Model Binanın Karşılaştırması

Yük	Ölçülen	Model	Hata
	(kWh)	(kWh)	(%)
Isıtma	177.384	187.955	-5,96
Soğutma	4.248	6.675	-57,15
Havalandırma	54.218	48.001	11,47
Aydınlatma	2.670	2.976	-11,48
Diğer	18.667	17.878	4,23
Toplam	257.185	263.485	-2,45

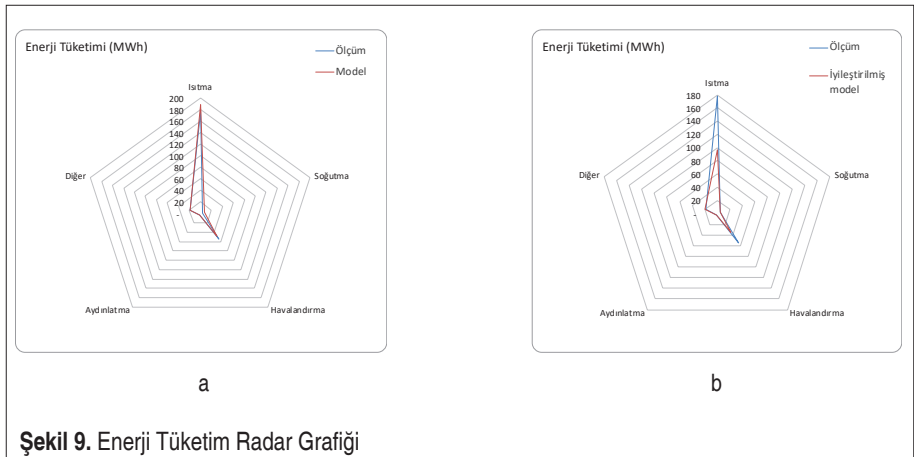


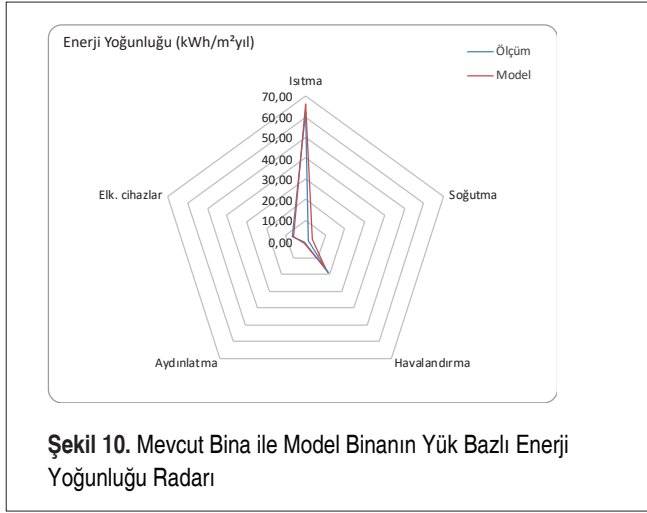


binanın iyileştirmeler sonucunda tüketileceği enerji miktarı 154.233 kWh olarak hesaplanabilir. Bu değer mevcut binanın iyileştirilmiş durumu ile arasında %40 civarında bir enerji tasarrufu olacağını göstermektedir.

Mevcut binanın ölçülen gerçek tüketim verileri ile model binanın yük bazlı enerji tüketim radarı Şekil 9 a'da ve iyileştirmeler sonucundaki radar grafiği de Şekil 9 b'de verilmiştir.

Köprübaşı MYO binasında 2019 yılı boyunca gerçekleştirilen ölçüm sonuçlarına göre binanın toplam enerji tüketimine göre enerji yoğunluğu, kullanım alanı başına yaklaşık 62,35 kWh/m<sup>2</sup>yıl iken, model binanın aynı iklim koşulları altında enerji yoğunluğu 66,05 kWh/m<sup>2</sup>yıl olarak hesaplanmıştır (10).





## SONUÇLAR

Köprübaşı MYO binasının enerji performansı iklimlendirme açısından rahatlıkla iyileştirilebilir bir durum sergilemektedir. Özellikle binanın çatısında kurulu olan Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin kapasitesi dikkate alındığı zaman, hava kaynaklı bir ısı pompası ile binanın iklimlendirilmesi oldukça yararlı olacaktır. Aynı zamanda ısıtma için kullanılan kömürün yarattığı sera gazı emisyonunda da yüksek oranda azalma sağlanacaktır. Eğer simülasyon için önerilen senaryolar gerçekte uygulamaya sokulacak olursa, Binanın enerji yoğunluğu 90,4 kWh/m<sup>2</sup>yıl'dan yaklaşık 55,54 kWh/m<sup>2</sup>yıl değerine ulaşacaktır ki, bu binayı enerji verimliliği açısından bir üst sınıfa taşıyacaktır.

Seragazi emisyonu açısından oldukça yüksek salıma sahip olan binada, kullanım alanı başına yıllık toplamda 74,90 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerinde iken, önerilen iyileştirmeler ve çatıdaki FV-GES'in desteğiyle bu değer 12,61 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>yıl değerine kadar düşecektir. Bu sonuç binayı oldukça yüksek oranda çevre duyarlı bir duruma getirecektir.

Proje kapsamında dikkate alınan Köprübaşı MYO binasının enerji tüketiminde ciddi oranda tasarruf potansiyeline sahip olduğu, ayrıca yenilenebilir enerji kullanımı ile binanın enerji tüketimleri, enerji maliyetleri ve CO<sub>2</sub> emisyon miktarlarının yüksek oranlarda azaltılabildiği tespit edilmiştir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma Manisa Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje Numarası: BAP 2018-062). Ayrıca bu



çalışmada adı geçen 30kW çatı üstü FV GES, Zafer Kalkınma Ajansı tarafından %75 oranında hibe ile desteklenmiştir. (Proje Numarası: TR33-16-SUCEP-0028).

## KAYNAKÇA

1. **Öztürk, H., K.** 2020. “Rüzgar Türbinlerinde İşletme ve Bakım”, Mühendis ve Makina, Vol 61, Sayı 701, pp. 262-279
2. **Dawar, A., Kaya, M., F.** 2021. “Güneş Enerjisi Depolama Malzemelerinin Bugünü, Yarını ve Geleceği”, Mühendis ve Makina, Vol 62, Sayı 702, pp. 70-90
3. **Kılış, B.** 2020. “Yapılardaki Kat Adedinin Büyük Kentlerin Güneş Enerjisinden Akılcı Yararlanmasına Etkileri”, Mühendis ve Makina, Vol 61, Sayı 699, pp. 81-115
4. **ExxonMobil.** 2019. “2019 Summary Annual Report. Texas, USA”, pp. 1-58 (<https://corporate.exxonmobil.com/-/media/Global/Files/investor-relations/annual-meeting-materials/annual-report-summaries/2019-Summary-Annual-Report.pdf>, Erişim tarihi: 10.04.2019).
5. **TBMM.** 2007. “5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu”, Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, No 26510.
6. **TBMM.** 2008. “Binalarda Enerji Performans Yönetmeliği”, Türkiye Cumhuriyeti Resmi Gazete, No 27075.
7. **Altan, H., S Douglas, J., Kim, Y. K.** 2014. “Energy Performance Analysis of University Buildings: Case Studies at Sheffield University, UK”, Journal of Architectural Engineering Technology, Vol 3, Issue 3, pp.1-13.
8. **Altan, H.** 2010. “Energy efficiency interventions in UK higher education institutions”, Energy Policy, Vol 38, Issue 12, pp. 7722-7731.
9. **Salleh, M. N. M., Kandar, M. Z., Sakip, S. R. M.** 2016. “Benchmarking for Energy Efficiency on School Buildings Design: A Review”, Procedia - Social and Behavioral Science. Vol 222, pp.211-218.
10. **Abdallah, A. S. H.** 2015. “Analysis of Thermal Comfort and Energy Consumption in Long Time Large Educational Halls (Studios), Assiut University, Egypt”, Procedia Engineering, Vol 121, pp.1674-1681.
11. **Bourdeau, M., Guo, X., Nefzaoui, E.** 2018. “Buildings energy consumption generation gap: A post-occupancy assessment in a case study of three higher education buildings”, Energy and Buildings, Vol 159, pp. 600-611.
12. **Dixit, M. K., Singh, S.** 2018. “Embodied energy analysis of higher education buildings using an input-output-based hybrid method” Energy and Buildings, Vol 161, pp.41-54.
13. **Yousefi, Y., Yousefi, S., Yousefi, Y.** 2015. “Energy-efficiency in educational buildings in iran : analysis and measures School of Construction and the Environment”, Building Simulation Conference, Ilam University, Iran, pp. 169-174.
14. **Lawrence, R., Keime, C.** 2016. “Bridging the gap between energy and comfort: Post-



- occupancy evaluation of two higher-education buildings in Sheffield”, *Energy and Buildings*, Vol 130, pp. 651–666.
15. **Ostojić, S., Veršić, Z., Muraj, I.** 2016. “Energy analysis and refurbishment strategy for Zagreb University buildings: Former Faculty of Technology in Zagreb by Alfred Albini”, *Energy and Buildings*, Vol 115, pp. 47–54.
  16. **Guan, J., Nord, N., Chen, S.** 2016. “Energy planning of university campus building complex: Energy usage and coincidental analysis of individual buildings with a case study”, *Energy and Buildings*, Vol 124, pp. 99–111.
  17. **Hawkins, D., Mumovic, D.** 2017. “Evaluation of life cycle carbon impacts for higher education building redevelopment: a multiple case study approach”, *Energy and Buildings*, Vol 150, pp. 507–515.
  18. **Hawkins, D., Mumovic, D.** 2017. “Evaluation of life cycle carbon impacts for higher education building redevelopment: an archetype approach”, *Energy and Buildings*, Vol 147, pp. 113–122.
  19. **Wang, C., Kilkis, S., Tjernström, J., Nyblom, J., Martinac, I.** 2017. “Multi-objective Optimization and Parametric Analysis of Energy System Designs for the Albano University Campus in Stockholm”, *Procedia Engineering*, Vol 180, pp. 621–630.
  20. **Li, L., Tong, Z., Linhua, Z., Hongchang, S.** 2017. “Energy Consumption Investigation and Data Analysis for one university of Guangzhou”, *Procedia Engineering*, Vol 205, pp. 2118–2125.
  21. **Khoshbakht, M., Gou, Z., Dupre, K.** 2018. “Energy use characteristics and benchmarking for higher education buildings”, *Energy and Buildings*, Vol 164, pp. 61–76.
  22. **Kim, A. A., Sunitiyoso, Y., Medal, L. A.** 2019. “Understanding facility management decision making for energy efficiency efforts for buildings at a higher education institution” *Energy and Buildings*, Vol 199, pp. 197–215.
  23. **Leal Filho, W., Salvia, A. L., Paço, A. do, Anholon, R., Gonçalves Quelhas, O. L., Rampasso, I. S., Ng, A., Balogun, A. L., Kondev, B., Brandli, L. L.** 2019. “A comparative study of approaches towards energy efficiency and renewable energy use at higher education institutions”, *Journal of Cleaner Production*, Vol 237, pp. 1-23.
  24. **Wang, J. C.** 2019. “Analysis of energy use intensity and greenhouse gas emissions for universities in Taiwan”, *Journal of Cleaner Production*, Vol 241, pp. 1-15.
  25. **Ocampo Batlle, E. A., Escobar Palacio, J. C., Silva Lora, E. E., Martínez Reyes, A. M., Melian Moreno, M., Morejón, M. B.** 2020. “A methodology to estimate baseline energy use and quantify savings in electrical energy consumption in higher education institution buildings: Case study”, *Federal University of Itajubá (UNIFEI). Journal of Cleaner Production*, Vol 244, pp. 1-18.
  26. **Ariyo, B. O., Akorede, M. F., Omeiza, I. O. A., Amuda, S. A. Y., Oladeji, S. A.** 2018. “Optimisation analysis of a stand-alone hybrid energy system for the senate building, University of Ilorin, Nigeria”, *Journal of Building Engineering*, Vol 19, pp. 285–294.



27. **Saydam, D. B., Özalp, C., Hürdoğan, E., Polat, C., Kavun, E.** 2021. “Yeşil Çatı Uygulamasının Örnek Bir Bina İçin Isıtma İhtiyacı ve Çevre Emisyonlarına Etkisinin İncelenmesi”, *Mühendis ve Makina*, Vol 62, Sayı 703, pp. 204-220
28. **Koyun, T., Koç, E.** 2017. “Bir Binanın Değişken Cam ve Dış Duvar Tiplerine Göre Pencere/Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi”, *Mühendis ve Makina*, Vol 58, Sayı 688, pp. 1-14
29. **Yücer, C.** 2016. “Ekserji analizi yöntemi kullanılarak bina ısıtma sistemlerinin incelenmesi”, *Mühendis ve Makina*, Vol 57, Sayı 681, pp. 59-64.
30. **Bayar, U., Atılğan, A.** 2015. “Yeşil ev tasarımı ve enerji analizi için uygulama örneği”, *Mühendis ve Makina*, Vol 56, Sayı 671, pp. 41-52
31. **Haydaraslan, E., Çuhadaroğlu, B., Yaşar, Y.** 2020. “Kat Isıtmasında Yüzer Döşeme ve Faz Değiştiren Malzeme Kullanımının Enerji Verimliliğine ve Konfor Koşullarına Etkisi”, *Mühendis ve Makina*, Vol 61, Sayı 700, pp. 180-197
32. **Tokuç, A.** 2009. “Bina enerji benzetim araçları ve seçim ölçütleri”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, Vol 11, Sayı 2, pp. 19-30.
33. **Kılıçlı, A.** 2018. “Ege Üniversitesi Bünyesindeki Mevcut Bir Binanın Enerji-Ekserji Analizi ve İyileştirme Önerileri”, *Yayınlanmamış Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü Ege Üniversitesi*, pp. 1-146.
34. **Akdemir M.** 2013. “Dynamic energy and exergy analysis of an existing Building in Iztech”, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü İYTE*, pp. 1-111.
35. **Rüşen, S., Topçu, M., Karanfil Celep, G., Çeltek, S., Rüşen, A.** 2013. “Üniversite kampüs binaları için enerji etüdü: örnek çalışma”, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Vol 33, Sayı 2, pp. 83-92.
36. **Ateş, A., M., Ülgen, K.** 2018. “Eğitim binalarının enerji verimliliği performansının değerlendirilmesi: Köprübaşı MYO Örneği”, *Bilimsel Araştırma Projesi, MCBÜ, Proje No:2018-062*, pp. 1-78.
37. **İZODER.** 2019. “TS 825 Hesap Yöntemi”, *İZODER Isı Su Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği*, ([https://www.izoder.org.tr/hesap-makinesi/ts\\_825\\_yardim.pdf](https://www.izoder.org.tr/hesap-makinesi/ts_825_yardim.pdf), Erişim tarihi: 19.04.2020).

# Manyetik Levitasyon Sistemleri İçin Ağırlıklı Geometrik Merkez Yöntemi ile PI-PD Kontrolcü Tasarımı

Cem Onat<sup>1\*</sup>, Mahmut Daskin<sup>2</sup>, Abdullah Turan<sup>3</sup>, Ömerülfaruk Özgüven<sup>4</sup>

## ÖZ

Manyetik levitasyon (Maglev) sistemleri, mühendislik sistemlerinde sürtünmeyi en aza indiren çözümler sunduğundan, güncel mühendislik çalışmalarındandır. Bu çalışmada, yeni bir PI-PD kontrolcü tasarım prosedürü sunulmuştur. PI-PD kontrolcüsü, bir PI (iç döngü) ve bir PD (dış döngü) kombinasyonundan oluşur. İç döngünün amacı, açık döngü kararsız sistemi kararlı kılmaktır. Dış döngünün amacı, kapalı döngü sisteminin toplam performans gereksinimlerini sağlamaktır. Tasarım prosedürü, kontrolcü parametreleri düzleminde kararlılık sınır eğrisi kullanılarak çizilen kararlı bölgenin elde edilmesi ve bu bölgenin ağırlıklı geometrik merkezinin (AGM) hesaplanmasına dayanır. Tasarım prosedüründe, ilk olarak, iç döngü için PD kontrolcü parametrelerinin düzlemindeki kararlı bölge ve bunun ağırlıklı geometrik merkezi hesaplanır. İç döngü, belirtilen AGM kontrol parametreleri kullanılarak tek bir bloğa indirgenir ve ardından prosedür, farklı tasarımlarda faz ve kazanç payı performans gereksinimlerini uygulayan bir test fonksiyonu kullanılarak dış döngü PI denetleyicisi için tekrarlanır. Deneysel çalışma, önerilen metodoloji ile tasarlanan PI-PD kontrolcünün literatürde bulunan alternatiflere göre daha üstün performans sergilediğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** PI-PD kontrol; kararsız sistem, maglev; ağırlıklı geometrik merkez.

## PI-PD Controller Design for Magnetic Levitation Systems Via Weighted Geometrical Center Method

### ABSTRACT

Since magnetic levitation systems offer solutions that minimize friction in engineering systems, they are subject to current engineering studies. In this study, a new PI-PD controller design procedure has been presented. A PI-PD controller consists of a combination of a PI (inner loop) and a PD (outer loop). The purpose of the inner loop is to stabilize the open loop unstable system. The purpose of the outer loop is to provide the total performance requirements of the closed loop system. The design procedure is based on obtaining the stability area plotted using the stability boundary curve in the control parameters plane, and then calculating the weighted geometrical center (WGC) of the stability region. In the design procedure, first, the stable region in the plane of the PD controller parameters for the inner loop and its weighted geometrical center are computed. The inner loop is reduced to a single block by using specified WGC control parameters, and then the procedure is repeated for the outer loop PI controller by using of a test function imposing the phase and gain margin performance requirements in different designs. Experimental study shows that the PI-PD controller, which is designed with the suggested methodology, exhibits superior performance compared to the alternatives available in the literature.

**Keywords:** PI-PD controller; unstable system; maglev; weighted geometrical center

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 31.03.2021

Kabul/Accepted : 08.07.2021

<sup>1</sup> Prof.Dr., Adıyaman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Adıyaman  
conat@adiyaman.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4295-4860

<sup>2</sup> Ömer Halisdemir Üniversitesi, Raylı Sistemler İşletmeciliği Bölümü, Niğde  
mdaskin@ohu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7777-1821

<sup>3</sup> Şırnak Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Şırnak  
abdullahuranturan@outlook.com, ORCID: 0000-0002-0174-2490

<sup>4</sup> İnönü Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye  
omer.ozguven@inonu.edu.tr, ORCID:0000-0002-8376-641X



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Magnetic levitation systems offer a solution that eliminates the physical contact between the moving and fixed parts. In other words, there is no friction in maglev systems. Magnetic bearings, high-speed passenger trains, non-contact melting etc, can be given as practical applications of magnetic levitation [1-4]. Since Maglev systems are open-loop and unstable, their applications require closed-loop control systems. They are also highly nonlinear [5]. Therefore, it is difficult to control due to these features. In this study, a new PI-PD controller design procedure has been presented and applied to a Magnetic Levitation System which is given in Fig.1 and 2.

### Methods

A PI-PD controller consists of a combination of a PI (inner loop) and a PD (outer loop). The scheme of PI-PD controller is given in Fig. 3. The purpose of the inner loop is to stabilize the open loop unstable system. The purpose of the outer loop is to provide the total performance requirements of the closed loop system. The design procedure is based on obtaining the stability area plotted using the stability boundary curve in the control parameters plane, and then calculating the weighted geometrical center (WGC) of the stability region. In the design procedure, first, the stable region in the plane of the PD controller parameters for the inner loop and its weighted geometrical center are computed. Fig. 5 and 6 show the stable region of PD controller parameters and WGC point of it respectively. The inner loop is reduced to a single block by using specified WGC control parameters, and then the procedure is repeated for the outer loop PI controller by using of a test function imposing the phase and gain margin performance requirements in different designs. Fig. 8 shows stability regions and their weighted geometrical center for different designs.

### Findings and Discussion

Experimental study shows that the PI-PD controller, which is designed with the suggested methodology, exhibits superior performance compared to the alternatives available in the literature.

The magnitude and phase plot of the closed loop maglev system with different PI-PD controller configurations are shown in Fig. 10. Besides, Bode analysis of maglev system with different controllers are demonstrated in Table 3. From the Table 3, it is observed that PI-PD controllers in different designs has the positive gain margin and PI-PD controller in design 1 has the highest phase margin, I-PD controller has the highest gain margin. In the Bode analysis of the maglev system with PI-PD controller designed in different designs, the highest gain margin was obtained as a result of design 3. So the closed loop stability of the maglev system with PI-PD controllers in different designs are observed.

In addition, robustness analysis of PI-PD controllers in different designs has been studied. The step responses and Bode diagrams for the lower and upper limits of the eight Kharitonov transfer functions and the original system with PI-PD controller in different designs are shown in Fig. 11 and 12 respectively. As shown in Fig. 11 and 12, the step responses and Bode diagrams of the original system and the systems with 8 Kharitonov transfer functions are almost overlapping. So, it is obtained that the system is stable according to Kharitonov theorem.

In real time analysis, real time responses of Maglev system with proposed PI-PD controller, the I-PD controller [22] and the PID controller [11] are shown in Fig. 13. Each real-time experiment was performed for 35 seconds.

From the data available in Table 4, it is observed that PI-PD controllers has the least peak time, PID has the highest overshoot and I-PD has the least overshoot. Considering the performance of PI-PD



controllers calculated according to 3 different designs, the highest overshoot and the settling time are seen in design 1, while the lowest overshoot and the settling time is seen in design 3. Furthermore, design 1 has the lowest peak time, while design 3 has the highest peak time. According to Table 4, it is seen that the PI-PD controller provides the best performance among the controllers specified except the phase margin and smaller tolerance for the overshoot and the peak time criteria. Also, the performance of the Maglev system with PI-PD controller in design 3 has the smallest steady state oscillations as compared to design 1 and design 2.

The control signal associated with the PID [11], I-PD [22] and PI-PD controllers (in different designs) for the real time control of maglev system has also been shown in Fig. 14. The proposed PI-PD controller requires the lowest energy.

As a result, PI-PD controller which is tuned by using of WGC method can be applied to any class of systems to improve performance of the process. Moreover, the fractional  $PI\lambda-PD\mu$  controller can be studied to compete with complex controllers.





## 1. GİRİŞ

Manyetik levitasyon, manyetik bir alandaki etkileşim sonucunda iletken bir nesnenin havada çeşitli kuvvetlere maruzken askıda kalmasıdır. Manyetik süspansiyon sistemleri, hareketli ve sabit parçalar arasındaki fiziksel teması ortadan kaldıran bir çözüm sunar. Bir başka ifadeyle maglev sistemlerinde sürtünme yoktur. Manyetik yataklar, yüksek hızlı yolcu trenleri, temassız eritme vb., manyetik levitasyonun pratik uygulamalarına örnek olarak verilebilir [1-4].

Maglev sistemleri açık döngü kararsız bir yapıya sahip olduğundan, uygulamaları kapalı döngü kontrol sistemleri gerektirir. Ayrıca yüksek mertebeli doğrusalsızlığa sahiptirler. [5]. Dolayısıyla bu özellikleri sebebiyle kontrol edilmesi zordur. Son yıllarda maglev sistemlerinin kontrolü hakkında birçok çalışma bildirilmiştir. Bu çalışmaların önemli bir kısmı, doğrusal olmayan sistemler için kontrol sentezinde kullanılan geri besleme doğrusallaştırmasına dayanmaktadır [5, 6]. Kapalı döngü sisteminin geri besleme doğrusallaştırması, kontrol dinamiklerine doğrusal olmayan terimler eklenerek yapılır. Dolayısıyla, geri beslemeli doğrusallaştırma yöntemi ile sentezlenen doğrusal olmayan denetleyici tasarımlarında karmaşık tasarım süreçleri vardır. Doğrusal olmayan yöntemlere dayalı olarak literatürde diğer doğrusal olmayan kontrolcü türleri ortaya konmuştur [7]. Kontrol yapıları, manyetik levitasyon sistemlerini kontrol etmek için kazanç programlama yaklaşımı [8], doğrusal kontrol tasarımı [9] ve yapay sinir ağı tekniklerine [10] dayalı olarak uygulanmıştır. Bahsedilen çalışmaların ortak özelliği, doğrusal olmayan karmaşık kontrol mimarileri kullanmalarıdır.

PID kontrolcülerini, basit yapıları ve yüksek gürbüzlükleri nedeniyle pratikte sıklıkla kullanılmaktadır. Uygulamada, mühendisleri daha iyi tasarım yöntemleri geliştirmeleri için motive ederler. Swain ve arkadaşları yakın zamanda bir manyetik levitasyon sistemi için PID kontrolcülerini tasarlamışlardır [11]. İlgili çalışmada önerilen PID denetleyicisinin aşma performansı zayıftır. Başka bir çalışmada, Sain ve arkadaşları, aşma performansını iyileştirmek için ayar noktası ağırlıklı PID denetleyicisini önermişlerdir [12]. Ayar noktası ağırlığı, aşma performansını iyileştirmek için güzel bir çözüm sunar, ancak denetleyici yapısı daha karmaşıktır çünkü bir ileri besleme döngüsü gerektirir. Sain ayrıca kutup arama tekniğine [13] dayalı bir PID denetleyici tasarımı yöntemi kullanmıştır. Duka ve arkadaşları yakın zamanda, uygun bir kontrolcü geliştirmek için kontrollü sistemin mevcut bir modelini kullanan bir strateji sağlayan dahili model kontrolünü (IMC) kullanan PID tasarımını önermişlerdir [14]. Bununla birlikte, PID denetleyicisiyle bir ayar noktası filtresi de kullanmışlardır. Maglev sistemleri için, Pallav ve diğerleri iki tip PID kontrolcü sunmuştur. Bunlardan biri türev filtreli, diğeri türev filtresizdir [15]. Başka bir çalışmada, genetik algoritma kullanılarak maglev sisteminin parametrelerinin ayarlanmasıyla PID denetleyici önerilmiştir. [16]. Kazançları LQR tekniği ile ayarlanarak maglev sistemini kontrol etmek için bir PID kontrol cihazı da önerilmiştir. [17]. [18]'de, Gandhi ve Adhyaru tarafından



maglev sisteminin mevcut kontrollü modu için önceden bulanık bir PID denetleyicisi tasarlanmış ve uygulanmıştır. Başka bir çalışmada, bir maglev sisteminin kontrolü için uyarlanabilir bir PID kontrol sistemi, Lin ve arkadaşları [19] tarafından geliştirilmiştir. Yukarıda belirtilen tüm PID tasarım çalışmalarının ortak özelliği, kontrol performansını iyileştirmek için daha karmaşık bir kontrol yapısına sahip PID kontrolcü geliştirmektir. Bu nedenle, geliştirilen PID kontrolcü tasarım stratejileri, kontrol yapısının sadece belirli bir kısmı içindir.

PID denetleyicilerin farklı bir biçimi olan PI-PD denetleyicileri, kararsız ve tümlevsel sistemler için özellikle tercih edilmektedir [20, 21]. Sain ve arkadaşları, Jaya algoritması [22] aracılığıyla tasarlanmış bir I-PD kontrolcü önermişlerdir. Sain ve arkadaşları ayrıca, maglev sistemi için genetik algoritma ve integral eğimli türev (I-TD) denetleyicileri aracılığıyla optimize edilen eğimli-integral-türev (TID) tasarlanmış ve denetleyici performansı ile de karşılaştırmışlardır. Deneysel sonuçlara göre, I-TD denetleyicisinin daha iyi bir performansa sahip olduğu anlaşılmıştır. [23]. PI-PD kontrol yapısı, bir PI (iç döngü) ve bir PD (dış döngü) kombinasyonundan oluşur. PD denetleyicisinin amacı, yalnızca kararsız açık döngü sistemini stabilize etmektir. PI denetleyicisinin hedefi, kapalı döngü sisteminin referans izleme, bozulma reddi ve gürbüzlük performanslarını yerine getirmektir. Bu çalışmada, manyetik top levitasyon sistemi için ilk olarak Onat [24, 25] tarafından önerilen AGM konseptine dayalı bir PI-PD tasarım prosedürü önerilmiştir. Prosedürün ilk adımında, PD kontrolcülü ve ağırlıklı geometrik merkezi ile iç döngü için kararlı kılan kontrolcü parametreleri bölgesi (orsal kazanç:  $k_f$  ve türevsel kazanç:  $k_d$ ) hesaplanmıştır. İç döngü daha sonra AGM yöntemiyle PD kontrol parametreleri kullanılarak tek bir bloğa indirgenmiştir. Son olarak, indirgenmiş model aracılığıyla prosedür, PI denetleyicisiyle dış döngü için tekrarlanmıştır. PD kontrolcü tasarımından farklı olarak, PI kontrolcüsünde bir test fonksiyonu kullanılır. Test sürecinde, kapalı döngü kontrol sistemi tasarımının [26] performans gereksinimlerini sağlamak için PI denetleyici tasarım sürecinde gerekli faz ve kazanç payı değerlerinin uygulanmasıdır. Sınır noktalarının koordinatları kullanılarak, bu bölgenin AGM noktası kolayca hesaplanabilir. AGM yönteminin diğer yöntemlere göre avantajı (örneğin; genetik algoritma [16], LQR [17], Jaya algoritması [22], Ziegler-Nichols ayarı [27], Astrom-Hagglund otomatik ayar [28]) herhangi bir optimizasyon işlemi olmaksızın kontrol parametrelerinin sayısal olarak hesaplanmasıdır.

## 2. MANYETİK TOP LEVİTASYON SİSTEMİ

Manyetik top levitasyon sisteminde, çelik bilye, bir elektromıknatısın ürettiği elektromanyetik kuvvet tarafından havada asılı kalır. Feedback Instruments tarafından üretilen Maglev sisteminin (Model No 33-210) temel kuruluşu Şekil 1’de gösterilmiştir. Bu manyetik levitasyon sistemi ayrıca [29]’da da incelenmiştir. Sistemin ana bileşenleri, çelik çekirdekli bir solenoid bobin, bir ferromanyetik bilye ve konum sensö-

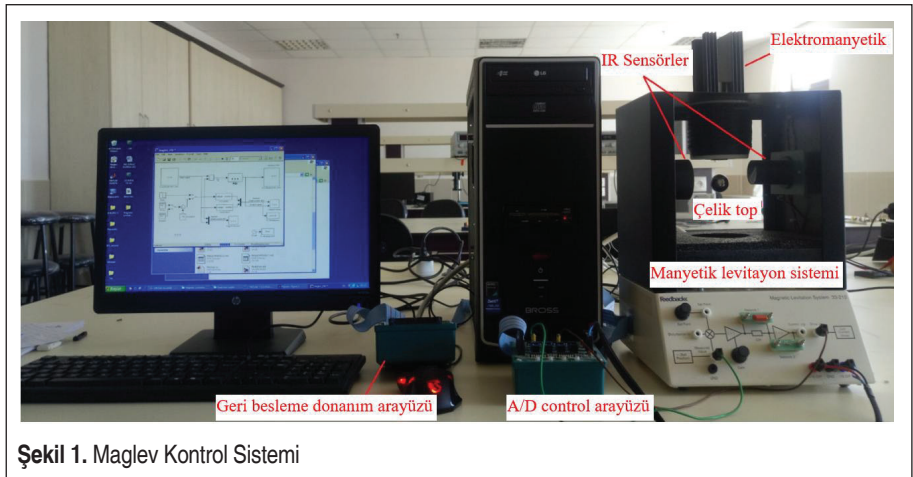


ründen (IR sensörü) yapılmış bir elektromıknatıstır. IR sensörü, ferromanyetik topun dikey konumunu belirler. Sistemde, geri besleme için 33-301 A / D kontrol arayüzü kullanılmıştır (Şekil 1). A / D kontrol arayüzü tarafından ölçülen sinyaller PC'ye PCI 1711u DAQ kartı aracılığıyla iletilir. Analog kontrol arayüzü, kontrol sinyallerini bilgisayardan maglev cihazına ve maglev cihazından bilgisayara aktarmak için kullanılmıştır. Sistemde kullanılan diğer ekipman olan geri besleme donanım arayüzü, çalışma aralığını düzeltir ve hatayı mikrodenetleyici A / D aralığına ölçeklendirir. Maglev sistemi Matlab/Simulink yazılımı ile dijital modda çalışır. Buradaki kontrolcü, hata sinyaline bağlı olarak eyleyiciye akım gönderir. Amaç, topu arzu edilen referans seviyesinde tutmaktır. Maglev sistemi, işlem yüküne bağlı olarak 0.001 saniyelik bir zaman gecikmeli transfer fonksiyonuna sahiptir. Maglev sisteminin parametreleri ise Tablo 1'de verilmiştir.

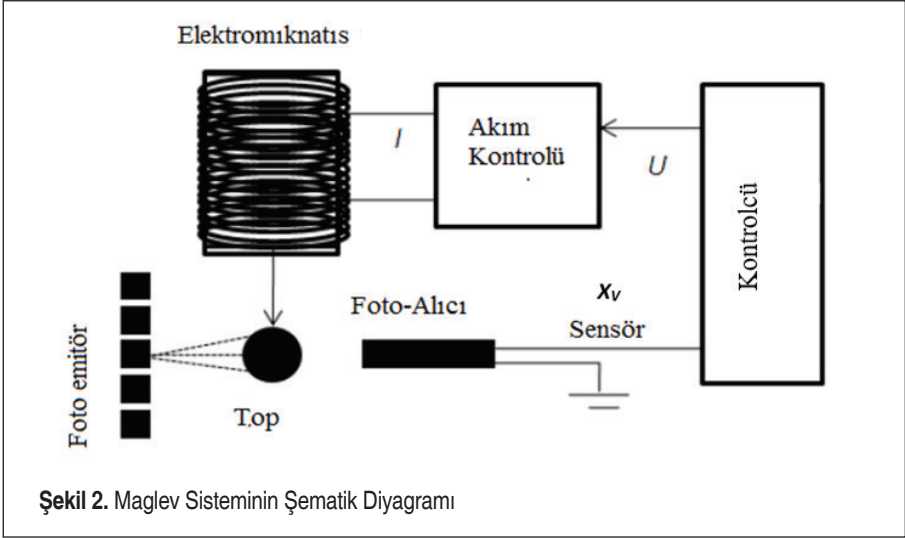
**Tablo 1.** Maglev Sistemine Ait Parametreler [11,29]

Parametre	Gösterim	Değer
Çelik Bilyenin Kütlesi	m	0.02 kg
Yer Çekimi İvmesi	g	9.81m/s <sup>2</sup>
Akımın Denge değeri	$I_0$	0.8 A
Pozisyon Denge Değeri	$x_0$	0.009 m
Kontrol gerilimi giriş seviyesi	U	+5V
Sensör çıkış gerilimi seviyesi	$x_v$	+1.25V -3.75V

Maglev sisteminin şematik diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.  $x$  topunun konumu ve



**Şekil 1.** Maglev Kontrol Sistemi



elektromanyetik bobin içindeki doğrusal olmayan en basit akım modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$m\ddot{x} = mg - k \frac{i^2}{x^2} \quad (1)$$

Model dinamiklerini Bode grafikleri, kutup ve sıfır haritaları, Nyquist grafikleri ve kök yer teknikleri kullanarak analiz etmek için modelin doğrusallaştırılması gerekir. Denge noktasının hesaplanması, doğrusal olmayan maglev sistemini doğrusallaştırmak için gereklidir [11].  $X = 0$  eşitliği ile akım ve konumun denge noktası hesaplanır ve sırasıyla 0,8 A ve 0,009 m (volt olarak ifade edildiğinde, -1.5 V) olarak bulunur.

Denklem 1 aşağıdaki gibi doğrusallaştırılabilir,

$$\Delta\ddot{x} = -\left(\frac{\partial f(i,x)}{\partial i}\right)_{i_0,x_0} \Delta i + \left(\frac{\partial f(i,x)}{\partial x}\right)_{i_0,x_0} \Delta x \quad (2)$$

Burada  $\Delta x$  ve  $\Delta i$  küçük sapmaları ifade eder ve Denklem (2)'nin her iki tarafının Laplace dönüşümü alınarak, transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$G_p(s) = \frac{\Delta x_v}{\Delta u} = \frac{-k_i}{s^2 - k_x} \quad (3)$$

Burada  $k_i$  ve  $k_x$  ifadeleri sırasıyla Denklem 4'de verilmektedir.

$$k_i = \frac{2g}{i_0}, \quad k_x = \frac{2g}{x_0} \quad (4)$$

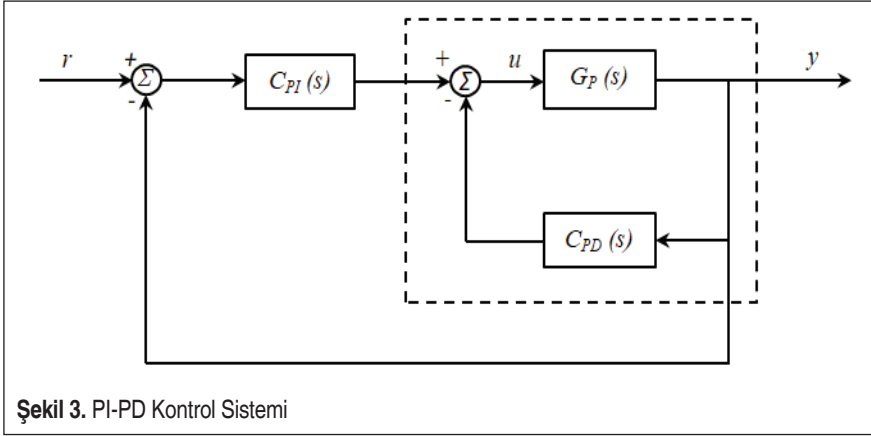


Bu noktada, küçük bir zaman gecikmesi değeri ( $\tau = 0.001$  s) hesaba katılırsa, açık döngü sisteminin transfer fonksiyonu Denklem 5'deki gibi ifade edilebilir. Modelde kullanılan çok küçük zaman gecikmesi iki farklı perspektif için iş görmektedir. Birincisi, kontrolcü parametrelerinin kararlılık bölgelerini sınırlamaktadır. İkinci ve daha önemlisi ise sunulan yöntemi diğer süreçlere genellemeye imkan tanır. Örneğin, bu çalışma internet üzerinden manyetik kaldırma sisteminin kontrolüne kadar genişletilebilir.

$$G_p(s) = \frac{\Delta x_v}{\Delta u} = \frac{-b}{s^2 - p^2} = \frac{-3518.85}{s^2 - 2180} e^{-0.001s} \quad (5)$$

### 3. PI-PD KONTROLÇÜ TASARIMI

PI-PD kontrol sistemine ait şema Şekil 3'te gösterilmektedir.



Sistemin transfer fonksiyonu denklem 6.'daki gibi tanımlanabilir.

$$G_p(s) = \frac{N_P(s)}{D_P(s)} e^{-\tau s} \quad (6)$$

Denklem 7 de tanımlanan  $C_{PD}$ , PD kontrolcünün transfer fonksiyonudur. Denklem 8'de tanımlanan  $C_{PI}$  ise PI kontrolcüye ait transfer fonksiyonudur.

$$C_{PD}(s) = \frac{N_{PD}}{D_{PD}} = \frac{(k_f + 100k_d)s + 100k_f}{s + 100} \quad (7)$$

$$C_{PI}(s) = \frac{N_{PI}}{D_{PI}} = \frac{k_p s + k_i}{s} \quad (8)$$



Burada  $k_d$  ve  $k_f$  PD kontrolcüye ait türev ve oransal kazançlardır.  $k_i$  ve  $k_p$  ise sırasıyla PI kontrolcüye ait tümevsel ve oransal kazançları ifade eder. İç geri besleme döngüsünün PD kontrolcü ile kapalı döngü karakteristik denklemi Denklem 9 'da verilmiştir.

$$\Delta_{PD}(s) = D_P(s)D_{PD}(s) + N_P(s)N_{PD}(s)e^{-\tau s} = 0 \quad (9)$$

Önerilen tasarım prosedürü üç adımdan oluşmaktadır;

**Adım1.** İç döngü için CPD ye ait kararlı kılan parametreler hesaplanır. Bu şekilde kararlılık bölgesi  $k_d$ - $k_f$  düzleminde grafiksel olarak elde edilir. Bunun için Denklem 9'da  $s=j\omega$  ve  $e^{-\tau j\omega} = \cos(\tau\omega) - j\sin(\tau\omega)$  değişimleri uygulanırsa Denklem 10 elde edilir.

$$\Delta_{PD}(j\omega) = D_P(j\omega)D_{PD}(j\omega) + N_P(j\omega)N_{PD}(j\omega)(\cos(\tau\omega) - j\sin(\tau\omega)) = 0 \quad (10)$$

Burada  $\Delta_{PD}$  gerçekte ve sanal kısımlarına ayrılırsa;

$$\Delta_{PD} = R_{\Delta,PD} + jI_{\Delta,PD} = 0 \quad (11)$$

Elde edilir. Burada  $R_{\Delta,PD}$  ve  $I_{\Delta,PD}$   $k_d$ ,  $k_f$  ve  $\omega$ 'nın fonksiyonudur.  $\Delta_{PD}$ 'nin gerçekte ve sanal kısımlarını sıfıra eşitleyerek, parametreleri ( $k_d$ ,  $k_f$ ) olan iki bilinmeyenli iki denklem elde edilir. Eşitlik sistemi ise denklem 12'de verilmiştir.

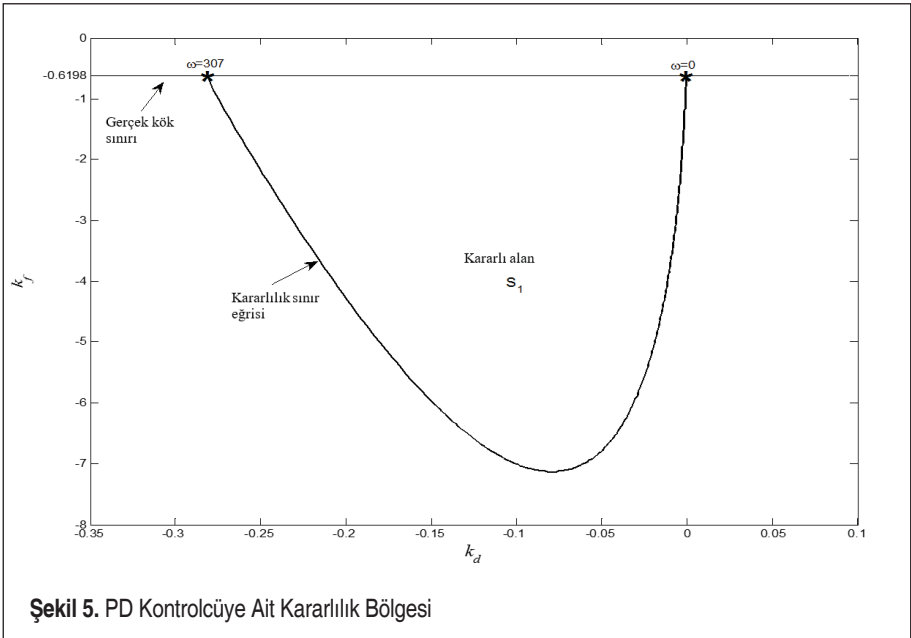
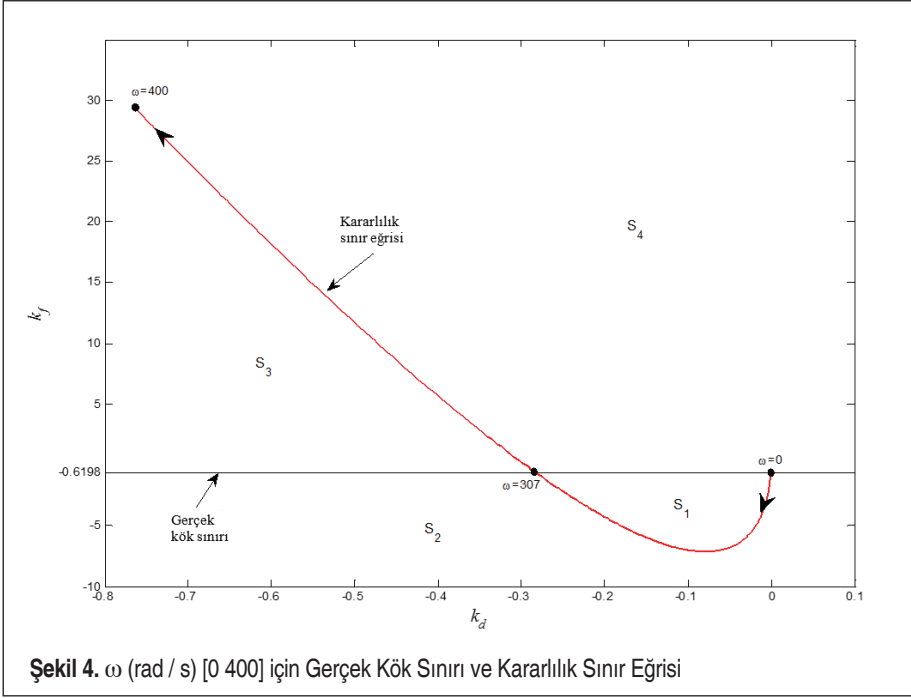
$$R_{\Delta,PD}(k_f, k_d, \omega) = 0, \quad I_{\Delta,PD}(k_f, k_d, \omega) = 0 \quad (12)$$

Frekans ( $\omega$ ) temelli olan denklem (doğrusal) sistemi çözülür, daha sonra  $k_d$ - $k_f$  düzleminde elde edilen  $k_d$ - $k_f$  parametreleri ile eğri çizilir. Son olarak bu alanın kararlı bölgesi ve AGM belirlenir.

### 3.1 AGM Noktasının Hesaplanması

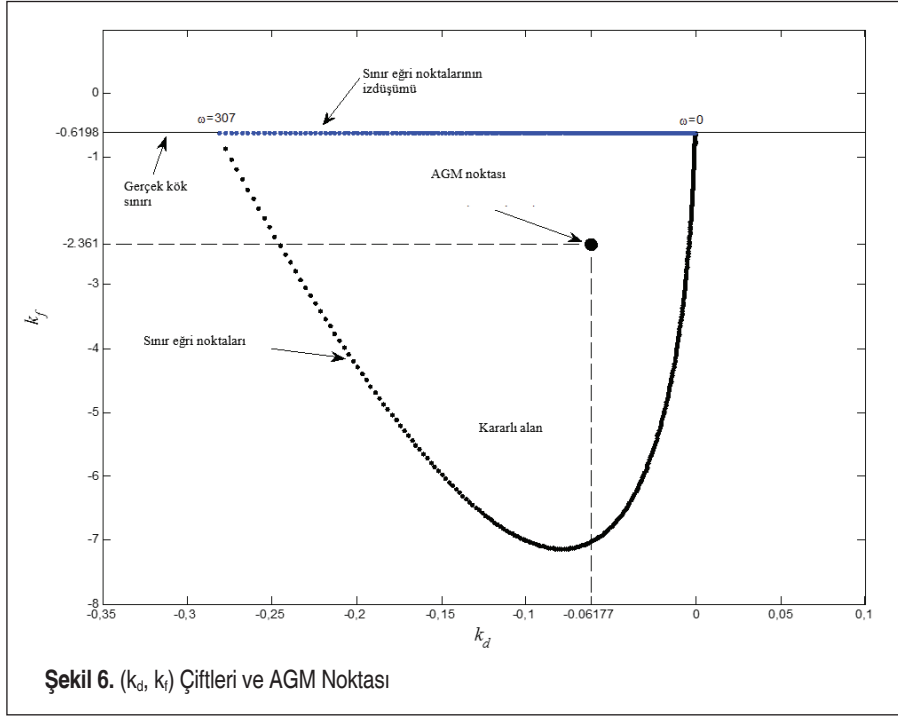
AGM yöntemi iki temele dayanmaktadır. İlk olarak, kararlı kılan kontrolcü parametreleri bölgesinin hesaplanmasıdır. Bunun için, kararlılık sınır eğrisi yöntemi kullanılır. Yöntemin ikinci temeli, kararlılık bölgesinin sınır eğrisini oluşturan noktalar vasıtasıyla kararlılık alanının AGM noktasının saptanmasıdır. AGM yöntemini daha iyi anlamak için, iç döngüde PD kontrolcü tasarımı detaylandırılmıştır. Bu bağlamda, Denklem 12 'de iki bilinmeyenli ( $k_d$ ,  $k_f$ ) iki denklem, frekansa ( $\omega$ ) (rad/s) bağlı olarak çözülürse, sistemin kararlılık sınırı eğrisi Şekil 4'teki gibi elde edilir.

Sistem parametrelerinin değişmesiyle oluşan gerçekte kök sınır çizgisi, kapalı döngü köklerinin  $s$  düzlemindeki yerini gösteren çizgidir. Parametre düzlemi S1, S2, S3 ve S4 olmak üzere dört bölgeye ayrılabilir. Şekil 4'te S1, kararlılık bölgesidir. S1, her bölgeden rastgele noktalar seçilerek ve Hurwitz kararlılık testi yöntemi ile elde edilir. PD kontrolcülü kararlılık bölgesi Şekil 5'te verilmiştir.



Şekilde  $\omega \in [0, 307]$  ile kararlılık sınır eğrisi elde edilmiştir. Kararlılık sınır eğrisi  $\omega$ 'nın her bir değerine karşılık gelen  $(k_d, k_f)$  çiftleri şeklinde temsil edilir.

Şekil 5'te görüleceği üzere her  $\omega$  değeri için noktalar farklı aralıklarda konumlanmıştır.  $k_f = -0.6198$  çizgisi, kararlılık sınır eğrisinin sınırını gösterir. S1 (kapalı kararlılık bölgesi),  $(k_{d1}, k_{f1}), (k_{d2}, k_{f2}), \dots, (k_{dm}, k_{fm})$  koordinatları olarak ifade edilen m adet sınır konum noktasından ve bunların gerçek kök çizgisine yansımından oluşan noktalarından meydana gelir. m adet yansıma noktaları  $(kd1, -0.6198), (kd2, -0.6198), \dots, (kdm, -0.6198)$  koordinatları olarak ifade edilebilir. Diğer bir deyişle, kararlılık bölgesi  $2 \cdot m$  noktayla çevrilidir.  $k_f = -0.6198$ 'in  $\omega$ 'dan bağımsız olduğu düşünülebilir çünkü kararlılık sınır eğrisi gerçek kök çizgisi  $k_f = -0.6198$  ile sınırlıdır [24]. Sonuç olarak, kararlılık sınır eğri noktalarının koordinat değerleri ve bunların yansıma noktaları kullanılarak, kararlılık bölgesinin AGM noktaları Denklem (13) ve (14) ile elde edilebilir.



Şekil 6.  $(k_d, k_f)$  Çiftleri ve AGM Noktası

$$k_{davg} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m k_{dj} \quad (13)$$

$$k_{favg} = \frac{1}{2m} \left[ \sum_{j=1}^m k_{fj} + (-0.6198 \cdot m) \right] \quad (14)$$





Daha küçük adım boyutlu  $\omega$  seçmenin (örneğin, 0.01, aynı zamanda daha büyük  $m$  değerlerine neden olur), büyük adım boyutundan daha doğru sonuçlar almamızı sağlayacağı bir gerçektir. Sonuçlar adım boyutu değişikliklerinden etkilenebilir ancak kararlılık açısından önemli bir etkisi yoktur [25]. Böylece, PD kontrolcüsünün AGM noktası  $(k_d, k_f) = (-0.06177, -2.361)$  olarak elde edilir.

**Adım 2.** İç döngü, seçilen PD kontrol parametreleri  $(k_d = -0.06177, k_f = -2.361)$  kullanılarak indirgenir. İndirgenmiş iç döngü transfer fonksiyonu Denklem 15 'te verilmiştir,

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{G_P(s)}{1 + C_{PD}(s)G_P(s)} = \frac{N_P(s)D_{PD}(s)e^{-\tau s}}{D_P(s)D_{PD}(s) + N_{PD}(s)N_P(s)e^{-\tau s}} \quad (15)$$

**Adım 3.** İç döngü PD denetleyicisinin amacı yalnızca kararlılığı sağlamaktır, ancak dış döngü denetleyicisinin amacı hem kararlılığı sağlamak hem de kapalı döngü sisteminin performans gereksinimlerini karşılamaktır. Kapalı döngü kontrol sisteminin performans gereksinimlerini kontrolcü tasarımına empoze etmenin en iyi yollarından biri kazanç faz payı testi,  $G_{gp} = Ae^{-j\cdot\theta}$  kullanmaktır. Şekil 3'ü ileri besleme yoluna bağlanan kazanç-faz payı testi  $G_{gp} = Ae^{-j\cdot\theta}$  ile ele alalım. Buna göre, kontrolcü tasarımının bu aşamasında kontrol blok şeması Şekil 7'de gösterildiği gibi ele alınır.



Kararlılık bölgesi, PI kontrolcü için  $k_p, -k_i$  düzleminde indirgenmiş transfer fonksiyonu vasıtasıyla elde edilir. CPD parametrelerinin hesaplanması için verilen prosedür kullanılarak, PI kontrolcü parametreleri de hesaplanabilir. Dış döngünün karakteristik denkleminde  $s=j\omega$  değişiminin uygulanmış hali Denklem 16 'da verilmiştir [2]. Tasarımda kullanılan A ve  $\theta$  değerleri önerilen prosedürü esnek hale getirir. Tasarım

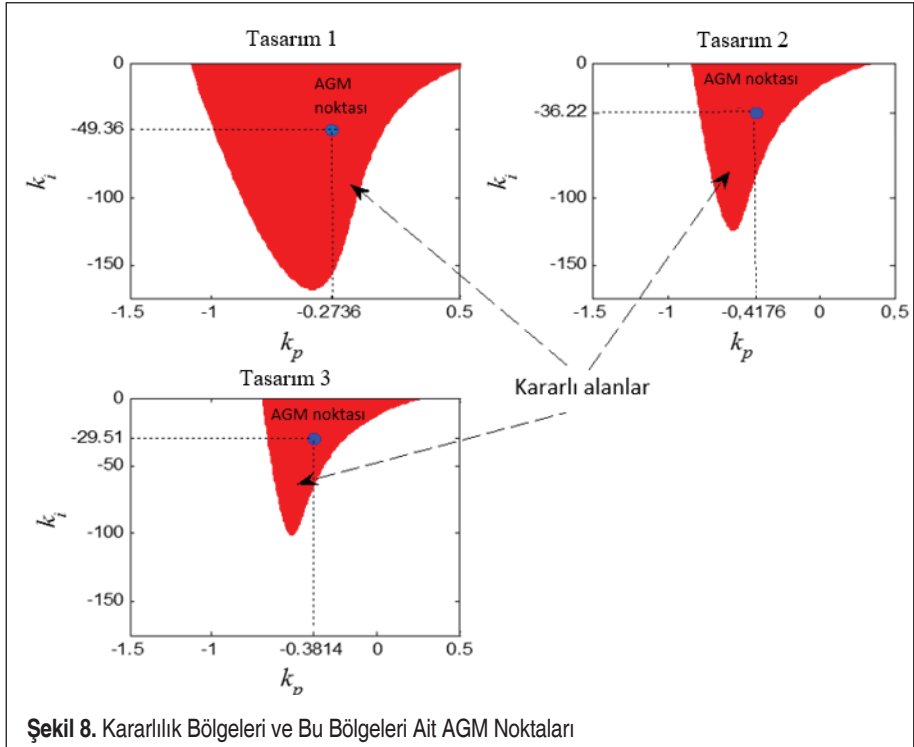
esnekliğini göstermek için üç farklı tasarım yapılmıştır. Dolayısıyla, kazanç payı tasarım 1’de  $A = 2$  ve faz payı  $\theta = 45^\circ$ , tasarım 2’de  $A = 2,5$  ve  $\theta = 52,5^\circ$  ve tasarım 3’te  $A = 3$  ve  $\theta = 60^\circ$  dir.

$$\Delta_{PI}(j\omega) = D(j\omega)D_{PI}(j\omega) + N(j\omega)N_{PI}(j\omega)Ae^{-j\theta} = 0 \quad (16)$$

$\Delta_{PI}$  sanal ve gerçek kısımlarına ayrıştırılırsa;

$$\Delta_{PI} = R_{\Delta,PI} + jI_{\Delta,PI} = 0 \quad (17)$$

Frekansa ( $\omega$ ) bağlı olarak (doğrusal) denklem takımını çözerek, elde edilen  $k_p$  ve  $k_i$  parametrelerini  $k_p - k_i$  düzleminde çizilmesi ile kararlılık bölgesi ve AGM belirlenir. İndirgenmiş iç döngünün transfer fonksiyonu için önerilen prosedürün 3. adımı uygulanırsa, PI kontrolcü ile dış döngü için kararlı hale getiren kontrol parametrelerinin bölgesi ve AGM,  $A$  ve  $\theta$  değerlerine göre Şekil 8’de gösterildiği gibi elde edilebilir. Böylece dış döngü PI kontrolcüsünün parametreleri üç farklı tasarım seçeneğine göre hesaplanabilir. Tasarım parametreleri  $A$  ve  $\theta$  arttıkça, kararlılık bölgesi beklenildiği gibi küçülür. Hesaplanan PI kontrolcü parametreleri Tablo 2’de verilmiştir.



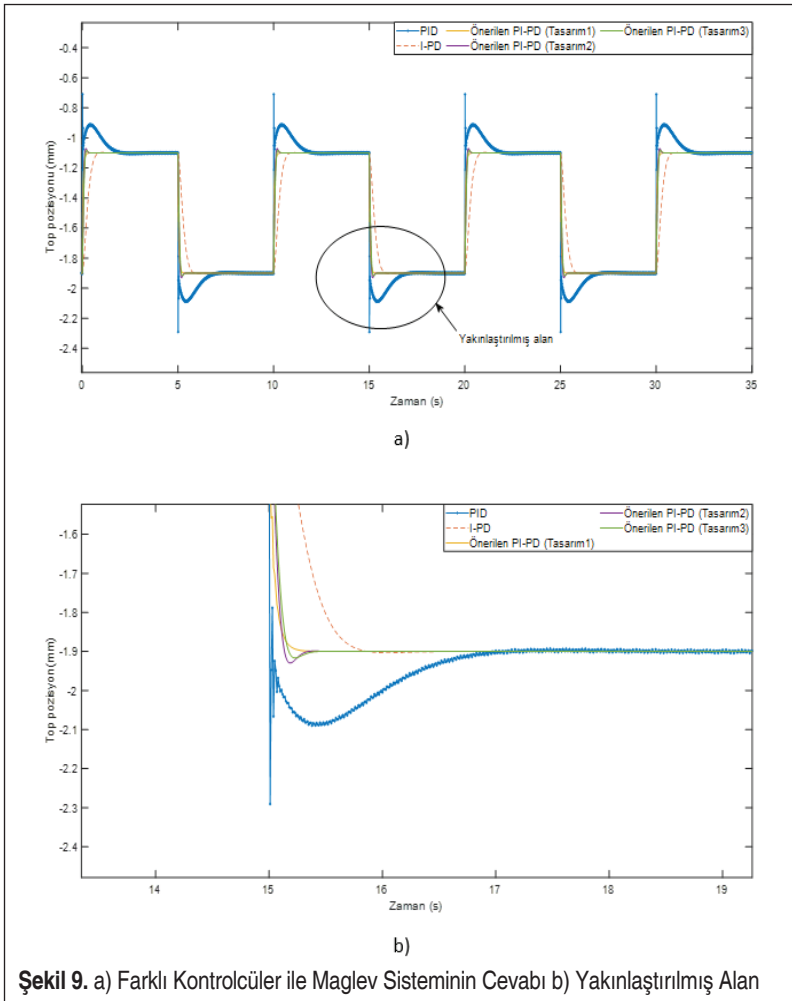
Şekil 8. Kararlılık Bölgeleri ve Bu Bölgeleri Ait AGM Noktaları

**Tablo 2.** Önerilen Yöntem ile Elde Edilen Farklı Tasarımlar

Tasarımlar	PD kontrolcü parametreleri	PI kontrolcü parametreleri
Tasarım 1 ( $A=2$ ve $\theta=45^\circ$ )	$k_d=-0.06177$ , $k_f=-2.361$	$k_p=-2.361$ $k_i=-49.26$
Tasarım 2 ( $A=2.5$ ve $\theta=52.5^\circ$ )	$k_d=-0.06177$ , $k_f=-2.361$	$k_p=-0.4176$ $k_i=-36.22$
Tasarım 3 ( $A=3$ ve $\theta=60^\circ$ )	$k_d=-0.06177$ , $k_f=-2.361$	$k_p=-0.3814$ $k_i=-29.51$

#### 4. SİMÜLASYON CEVAPLARI

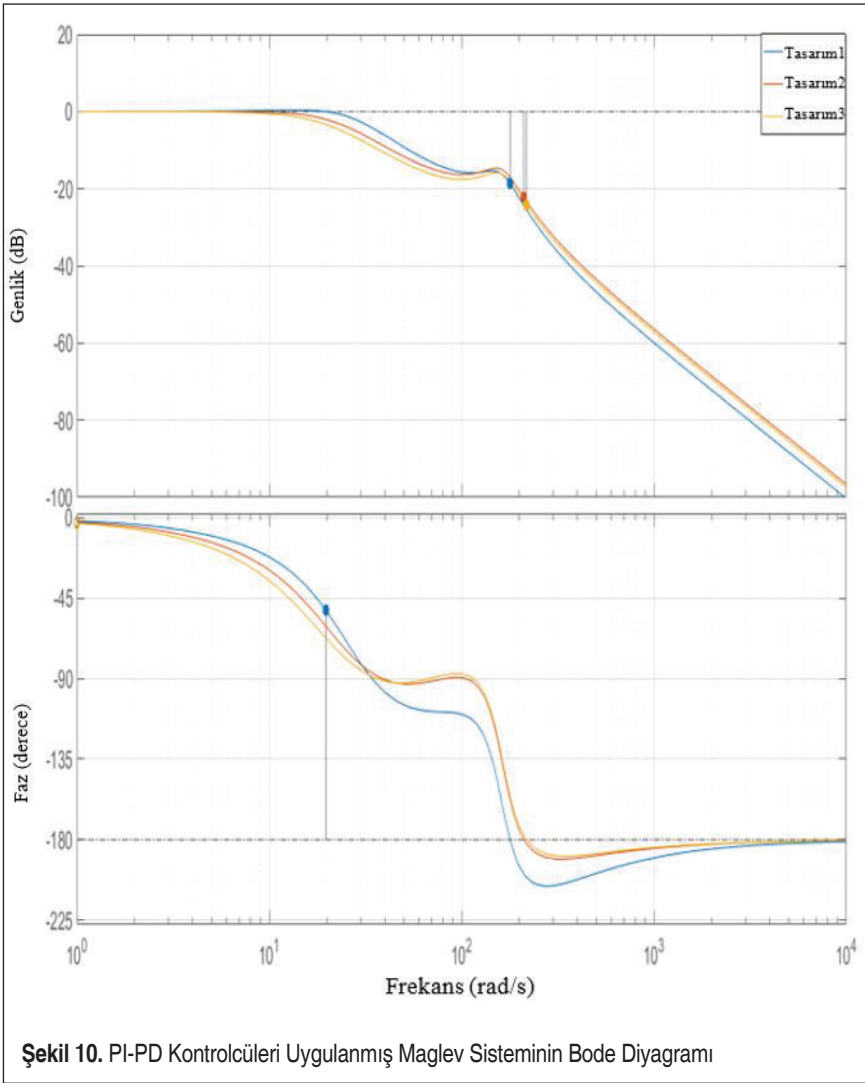
Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilen deneylerde giriş sinyalleri 1.5 V değerinde dalga ve adım sinyallerinden oluşmaktadır. Ortalama -1,5 V olan giriş sinyali, sis-





temin çalışma noktasının denge noktasından sapmamasını sağlamak için seçilmiştir. 35 saniye süreyle gerçekleştirilen simülasyonda maglev sistemine farklı kontrolcüler uygulanarak elde edilen cevaplar Şekil 9’da verilmiştir.

Farklı PI-PD denetleyici konfigürasyonlarına sahip kapalı döngü maglev sisteminin genlik ve faz grafiği Şekil 10’da gösterilmektedir. Ayrıca farklı kontrolcülere sahip maglev sisteminin Bode analizi Tablo 3’te gösterilmektedir. Tablo 3’ten, farklı tasarımlardaki PI-PD kontrolörlerinin pozitif kazanç payına sahip olduğu ve tasarım 1’deki PI-PD kontrolörünün en yüksek faz payına sahip olduğu ayrıca I-PD kontrol





kontrolcüsün en yüksek kazanç payına sahip olduğu görülmektedir. Farklı şekillerde tasarlanmış PI-PD kontrolcüye sahip maglev sisteminin bode analizinde en yüksek kazanç payı 3. tasarım sonucu elde edilmiştir.

**Tablo 3.** Farklı Kontrolcüler Uygulanmış Maglev Sisteminin Bode Analizi

Kontrolcü	Kazanç Kazancı (dB)	Faz Kazancı (Derece)	Kapalı Döngü Kararlılığı
PID [12]	-11.7	89.8	Evet
I-PD [23]	44.1	73.1	Evet
PI-PD (Tasarım 1)	18.6	128	Evet
PI-PD (Tasarım 2)	22.2	-180	Evet
PI-PD (Tasarım 3)	24.2	-180	Evet

## 5. GÜRBÜZLÜK

Gümbüz bir kontrolcü hem çevresel değişikliklerle hem de model belirsizlikleriyle başa çıkmalıdır. Bu nedenle parametrik belirsizliğin dikkate alınması çok önemlidir. Maglev sisteminin transfer fonksiyonunun  $k$ ,  $m$ ,  $g$  ve  $i$ 'nin bir fonksiyonu olduğu görülebilir ve bu parametrelerin tümü belirsizlik içerebilir. Bu nedenle, maglev sisteminin transfer fonksiyonunun parametrelerindeki belirsizliklerin hesaba katılması daha gerçekçi bir tasarım sağlar. Kharitonov teoremi [30, 31], sistemin gümbüzlük analizi için kullanılır. Belirsizlik durumunda önerilen yöntem kontrol sistemine aşağıdaki şekilde uygulanabilir;

Aşağıda verilen sistemi ele alalım.

$$G(s) = \frac{N(s)}{D(s)} = \frac{q_m s^m + q_{m-1} s^{m-1} + \dots + q_0}{p_n s^n + p_{n-1} s^{n-1} + \dots + p_0} \quad (19)$$

Burada  $q_i \in [\underline{q}_i, \overline{q}_i]$ ,  $i=0, 1, \dots, m$  ve  $p_i \in [\underline{p}_i, \overline{p}_i]$ ,  $j=0, 1, \dots, n$  dir.  $N(s)$  ve  $D(s)$  ile ilişkili Kharitonov polinomları ise sırasıyla aşağıdaki gibi olsun:

$$\begin{aligned} N_1(s) &= \underline{q}_0 + \underline{q}_1 s + \overline{q}_2 s^2 + \overline{q}_3 s^3 + \dots \\ N_2(s) &= \underline{q}_0 + \underline{q}_1 s + \underline{q}_2 s^2 + \underline{q}_3 s^3 + \dots \\ N_3(s) &= \overline{q}_0 + \underline{q}_1 s + \underline{q}_2 s^2 + \overline{q}_3 s^3 + \dots \\ N_4(s) &= \overline{q}_0 + \overline{q}_1 s + \underline{q}_2 s^2 + \underline{q}_3 s^3 + \dots \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned}
 D_0(s) &= \underline{p}_0 + \underline{p}_1s + \overline{p}_2s^2 + \overline{p}_3s^3 + \dots \\
 D_1(s) &= \overline{p}_0 + \underline{p}_1s + \overline{p}_2s^2 + \underline{p}_3s^3 + \dots \\
 D_2(s) &= \overline{p}_0 + \underline{p}_1s + \underline{p}_2s^2 + \overline{p}_3s^3 + \dots \\
 D_3(s) &= \overline{p}_0 + \underline{p}_1s + \underline{p}_2s^2 + \underline{p}_3s^3 + \dots
 \end{aligned} \tag{21}$$

$i, j = 1, 2, 3, 4$  için  $N_i$  (ler) ve  $D_j$  (s) 'nin tüm kombinasyonları alınarak 16 adet Kharitonov polinomu aşağıdaki denklemle elde edilebilir.

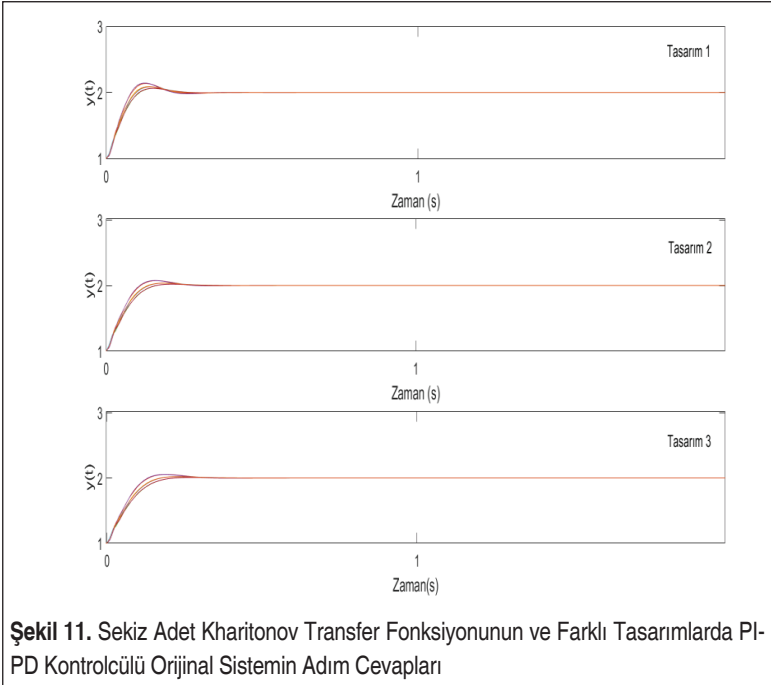
$$G_K(s) = G_{ij}(s) = \frac{N_i(s)}{D_j(s)} \quad [32, 33] \tag{22}$$

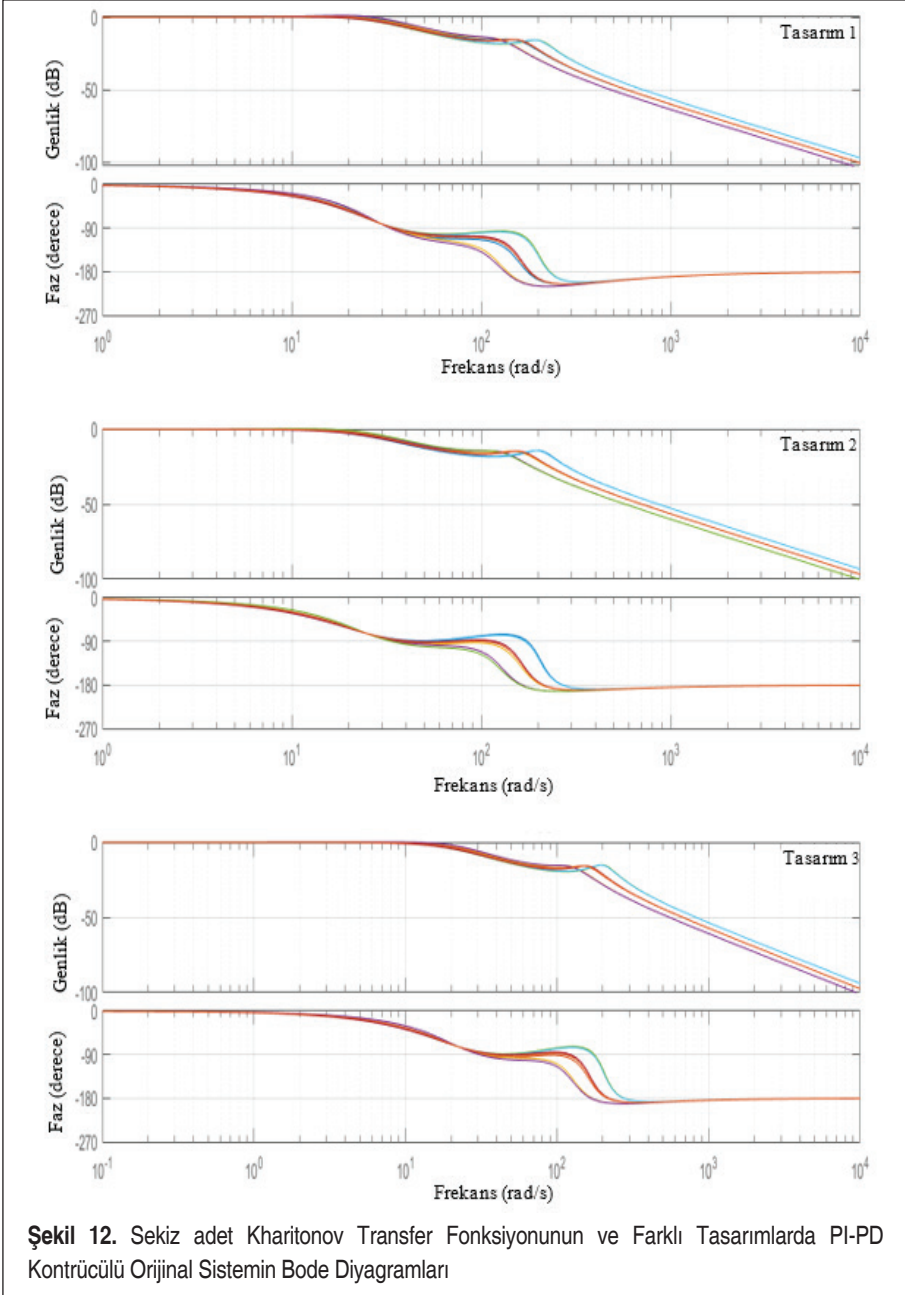
Denklem (5)'te verilen transfer fonksiyonu, aşağıdaki gibi aralıklı bir sistem gibi yazılabilir.

$$G_p(s) = \frac{b_0}{a_2s^2 - a_0} \tag{23}$$

Burada,  $b_0$  [2815.08, 4222.62],  $a_0$  [0.8, 1.2] ve  $a_2$  [1744, 2616]'dir. Elde edilen aralık değerleri %20'lik bir tolerans ile belirlenmiştir.

Sekiz adet Kharitonov transfer fonksiyonunun alt ve üst limitleri ile farklı tasarımlara



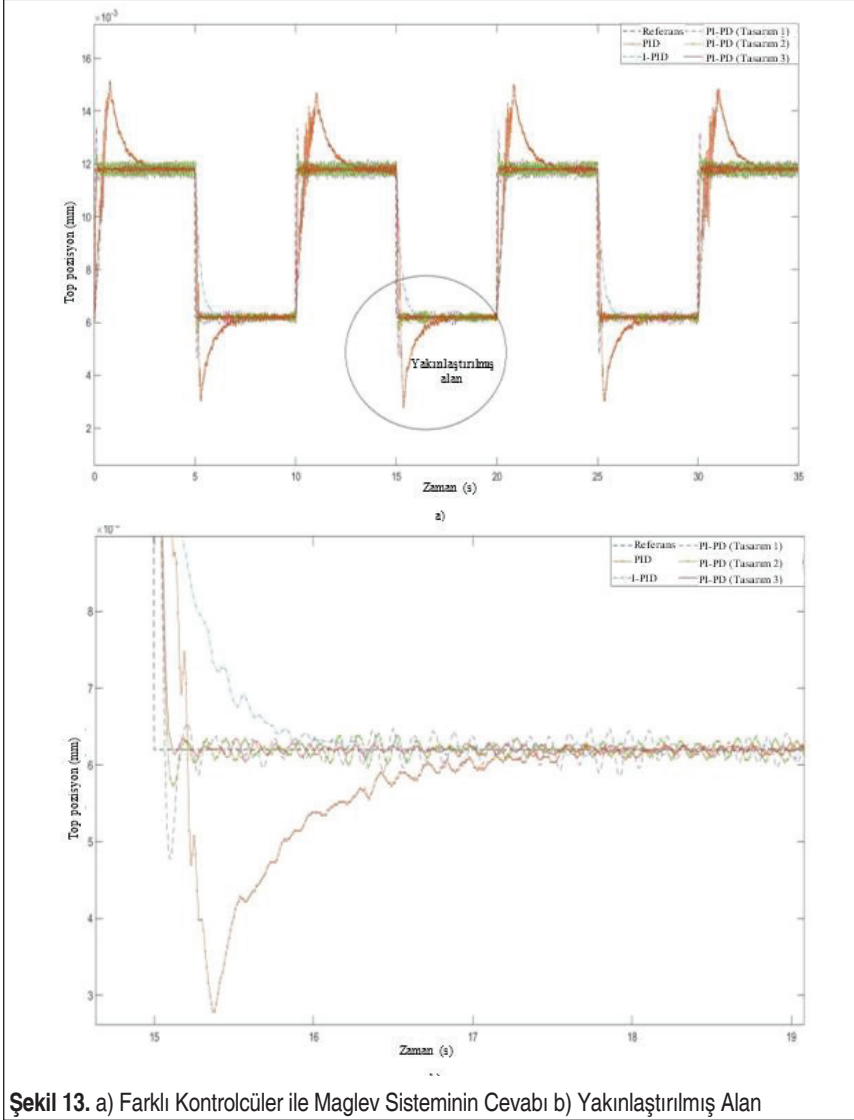


sahip PI-PD denetleyicili ve orijinal sistem için adım yanıtları ve Bode diyagramları sırasıyla Şekil 11 ve 12’de gösterilmektedir. Şekil 11 ve 12’de gösterildiği gibi,

orijinal sistemin adım yanıtları ve Bode diyagramları ile 8 adet Kharitonov transfer fonksiyonuna sahip sistem ile neredeyse örtüşmektedir. Böylece sistemin Kharitonov teoremine göre kararlı olduğu söylenebilir.

## 6. DENEYSEL DOĞRULAMA

Şekil 13'te Maglev sisteminin önerilen PI-PD kontrolcülü, I-PD kontrolcülü [22] ve PID kontrolcülü [11] gerçek zamanlı cevapları gösterilmektedir. Gerçek zamanlı tüm

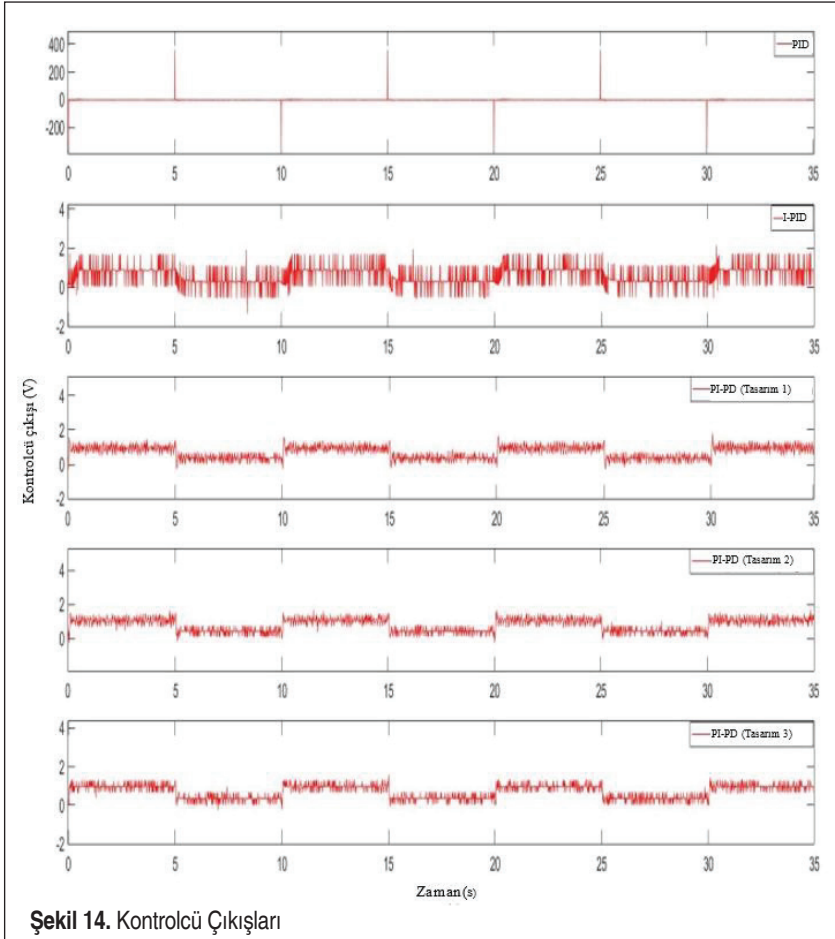




**Tablo 4.** Maglev Sisteminin Farklı Denetleyicilerle Zaman Alanı Özellikleri

Kontrolcü	Maksimum Aşma (%)	Pik Zamanı (s)	Oturma Zamanı (s)
PID [11]	57.03	0.56	2.83
I-PD [22]	0.39	0.55	0.66
PI-PD (Tasarım 1)	28.39	0.09	0.27
PI-PD (Tasarım 2)	9.89	0.11	0.21
PI-PD (Tasarım 3)	2.74	0.11	0.14

deneyler 35 saniye süre ile gerçekleştirilmiştir. Gerçek zamanlı bir simülasyon için, sistemdeki yapısal doğrusalsızlıklar nedeniyle topun elle konumlandırılması gerek-





mektedir. Bu nedenle, meydana gelen bozucunun üstesinden gelmek için ilk beş saniye kullanılmıştır.

Maglev sisteminin PI-PD denetleyicili (farklı tasarımlardaki) performansı PID denetleyicisi [11] ve I-PD denetleyicisi [22] ile karşılaştırılmış ve Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4’teki verilerden, PI-PD kontrolcülerinin en düşük tepe zamanına sahip olduğu, PID’nin en yüksek aşmaya sahip olduğu ve I-PD’nin en az aşmaya sahip olduğu gözlemlenmiştir. PI-PD kontrolcüsünün 3 farklı tasarıma göre elde edilen performans değerleri göz önüne alındığında, en yüksek aşma ve oturma süresi tasarım 1’de, en düşük aşma ve oturma süresi ise tasarım 3’te görülmektedir. Ayrıca, tasarım 1 en düşük pik zamanına sahipken, tasarım 3 en yüksek pik zamanına sahiptir. Tablo 4’e göre, PI-PD denetleyicinin faz payı dışında belirtilen denetleyiciler arasında en iyi performansı sağladığı ve aşma ve pik zaman kriterleri için daha az tolerans sağladığı görülmektedir. Ayrıca, tasarım 3’teki PI-PD denetleyicili Maglev sisteminin performansı, tasarım 1 ve tasarım 2’ye kıyasla en düşük kalıcı durum salınımlarına sahiptir.

Maglev sisteminin gerçek zamanlı kontrolü için PID [11], I-PD [22] ve PI-PD kontrolörleri (farklı tasarımlarda) ile ilişkili kontrol sinyalleri de ayrıca Şekil 14’te gösterilmiştir. Önerilen PI-PD kontrolörü en düşük enerji gereksinimine sahiptir.

## 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Maglev sistemi için bir PI-PD denetleyici tasarlanmıştır. Kontrolcü parametreleri AGM yöntemi sayısal olarak hesaplanmıştır. Üç aşamadan oluşan önerilen tasarım prosedüründe, birinci adımda iç döngü PD kontrolcüsü için oransal ve türevsel kazanç belirlenmiştir. İkinci adımda, belirlenen kazançlar ile iç döngü tek bir bloğa indirgenmektedir. Son adımda kazanç ve faz payı ayarlaması yapma imkanı veren bir test fonksiyonu kullanılarak AGM esaslı dış döngü PI kontrolcü parametreleri hesaplanmaktadır. Önerilen yöntem herhangi bir şekilde dögüsel optimizasyon algoritması kullanmamaktadır. Yöntemin kontrolcü parametrelerini sayısal biçimde model üzerinden hesaplamaya imkan tanınması özellikle pratik uygulamalar için kontrol mühendislerine güzel bir nümerik çözüm sunmaktadır. AGM esaslı PI-PD kontrolcüsünün performansı literatürde mevcut PID ve I-PD tasarımları ile karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Karşılaştırmanın sonucunda, AGM esaslı PI-PD’nin, PID ve I-PD’ye kıyasla daha iyi yanıt verdiği ortaya konmuştur. AGM yöntemi kullanılarak tasarlanan PI-PD kontrolcüsü, süreçlerin performansını artırmak için herhangi bir sistem sınıfına kolaylıkla uygulanabilir. Gelecek çalışmalarda, yapay zeka teknikleri kullanılarak kontrolcü parametreleri meta-sezgisel algoritmalar ile optimize edilebilir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi (BAP) tarafından desteklenmiştir (proje numarası: FDK-2017-886).



## KAYNAKÇA

1. **Yaghoubi, H.** 2013. "The most important maglev applications," *Journal of Engineering*, vol. 2013, p. 1-19.
2. **Maslen, E. H., Schweitzer, G.** 2009. "Magnetic bearings: theory, design, and application to rotating machinery," Berlin Heidelberg, Germany.
3. **Yoshida, K., Zhang, X.** 2005. "Propulsion and guidance control in ropeless linear elevator with pitching motion," 2005 International Conference on Electrical Machines and Systems, vol. 3, p. 1887-1892.
4. **Zhang, Y., Liu, S., Guan, Y., Li, H., Fan, Y.** 2010. "The axial position sensing and signal processing in maglev artificial heart pump," 2010 IEEE Fifth International Conference on Bio-Inspired Computing: Theories and Applications (BIC-TA), p. 396-400.
5. **Ahmad, I., Javaid, M. A.** 2010. "Nonlinear model & controller design for magnetic levitation system," *Recent advances in signal processing, robotics and automation*, p. 324-328.
6. **Kumar, T., Shimi, S., Karanjkar, D., Rana, S.** 2014. "Modeling, simulation and control of single actuator magnetic levitation system," 2014 Recent Advances in Engineering and Computational Sciences (RAECS), p. 1-6.
7. **Green, S. A., Craig, K. C.** 1998. "Robust, digital, nonlinear control of magnetic-levitation systems," *Journal of Dynamics, Measurement, and Control*, vol. 120, no. 4, p. 488-495.
8. **Kim, C., Kim, K.** 1994. "Gain scheduled control of magnetic bearings technology," *Proc. American Contr. Conf.*, p. 3127-3131.
9. **El Rifai, O. M., Youcef-Toumi, K.** 1998. "Achievable performance and design trade-offs in magnetic levitation control," AMC'98-Coimbra. 1998 5th International Workshop on Advanced Motion Control. Proceedings (Cat. No. 98TH8354), p. 586-591.
10. **Lairi, M., Bloch, G.** 1999. "A neural network with minimal structure for maglev system modeling and control," *Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on Intelligent Control Intelligent Systems and Semiotics (Cat. No. 99CH37014)*, p. 40-45.
11. **Swain, S. K., Sain, D., Mishra, S. K., Ghosh, S.** 2017. "Real time implementation of fractional order PID controllers for a magnetic levitation plant," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 78, p. 141-156.
12. **Sain, D., Swain, S. K., Mishra, S. K.** 2017. "Real-time implementation of robust set-point weighted PID controller for magnetic levitation system," *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 9, no. 2, p. 272.
13. **Sain, D.** 2019. "Real-Time implementation and performance analysis of robust



- 2-DOF PID controller for Maglev system using pole search technique,” *Journal of Industrial Information Integration*, vol. 15, p. 183-190.
14. **Duka, A.-V., Dulău, M., Oltean, S.-E.** 2016. “IMC based PID control of a magnetic levitation system,” *Procedia Technology*, vol. 22, p. 592-599.
  15. **Pandey, S. K., Laxmi, V.** 2014. “PID control of magnetic levitation system based on derivative filter,” 2014 Annual International Conference on Emerging Research Areas: Magnetics, Machines and Drives (AICERA/iCMMMD), p. 1-5.
  16. **Ahmad, I., Shahzad, M., Palensky, P.** 2014. “Optimal PID control of magnetic levitation system using genetic algorithm,” 2014 IEEE International Energy Conference (ENERGYCON), p. 1429-1433.
  17. **Kumar, E. V., Jerome, J.** 2013. “LQR based optimal tuning of PID controller for trajectory tracking of magnetic levitation system,” *Procedia Engineering*, vol. 64, p. 254-264.
  18. **Gandhi, R. V., Adhyaru, D. M.** 2018. “Pre-fuzzy-PID controller for effective control of electromagnetic levitation system,” 2018 Indian Control Conference (ICC), p. 113-118.
  19. **Lin, C.-M., Lin, M.-H., Chen, C.-W.** 2011. “SoPC-based adaptive PID control system design for magnetic levitation system,” *IEEE Systems journal*, vol. 5, no. 2, p. 278-287.
  20. **Onat, C.** 2019. “A new design method for PI–PD control of unstable processes with dead time,” *ISA transactions*, vol. 84, p. 69-81.
  21. **Ali, H. I., Saeed, A. H.** 2016. “Robust PI-PD controller design for systems with parametric uncertainties,” *Engineering & Technology Journal*, vol. 34.
  22. **Sain, D., Swain, S. K., Mishra, S. K.** 2018. “Real time implementation of optimized I-PD controller for the magnetic levitation system using Jaya algorithm,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 1, p. 106-111.
  23. **Sain, D., Swain, S. K., Mishra, S. K.** 2016. “TID and I-TD controller design for magnetic levitation system using genetic algorithm,” *Perspectives in Science*, vol. 8, p. 370-373.
  24. **Onat, C.** 2013. “A new concept on PI design for time delay systems: weighted geometrical center,” *International Journal of Innovative Computing, information and control*, vol. 9, no. 4, p. 1539-1556.
  25. **Ozyetkin, M. M., Onat, C., Tan, N.** 2020. “PI□PD controller design for time delay systems via the weighted geometrical center method,” *Asian Journal of Control*, vol. 22, no. 5, p. 1811-1826.
  26. **Hamamci, S. E., Tan, N.** 2006. “Design of PI controllers for achieving time and frequency domain specifications simultaneously,” *ISA transactions*, vol. 45, no. 4, p. 529-543.



27. **Ho, M.-T., Datta, A., Bhattacharyya, S.** 1996. "A new approach to feedback stabilization," Proceedings of 35th IEEE Conference on Decision and Control, vol. 4, p. 4643-4648.
28. **Ho, M.-T., Datta, A., Bhattacharyya, S.** 1997. "A linear programming characterization of all stabilizing PID controllers," Proceedings of the 1997 American Control Conference (Cat. No. 97CH36041), vol. 6, p. 3922-3928.
29. **Ghosh, A., Krishnan, T. R., Tejaswy, P., Mandal, A., Pradhan, J. K., Ranasingh, S.** 2014. "Design and implementation of a 2-DOF PID compensation for magnetic levitation systems," ISA transactions, vol. 53, no. 4, p. 1216-1222.
30. **Onat, C.** 2014. "WGC based robust and gain scheduling PI controller design for condensing boilers," Advances in Mechanical Engineering, vol. 6, p. 659051.
31. **Kharitonov, V.** 1979. "Asymptotic Stability of Equilibrium Position of a Family of Systems of Linear Differential Equations," Differential equations, p. 1483-1485.
32. **Ozyetkin, M. M., Onat, C., Tan, N.** 2018. "PID tuning method for integrating processes having time delay and inverse response," IFAC-PapersOnLine, vol. 51, no. 4, p. 274-279.
33. **Onat, C., Hamamci, S. E., Obuz, S.** 2012. "A practical PI tuning approach for time delay systems," IFAC Proceedings Volumes, vol. 45, no. 14, p. 102-107.



# Endüstri 4.0 ve 3 Boyutlu Yazıcıların Karşılaştırılması

Ahmet Fatih Yuran<sup>1</sup>, İbrahim Yavuz<sup>2\*</sup>

## ÖZ

Endüstri devrimi olarak bilinen üretim teknolojilerinde yaşanan üç devrimsel gelişme toplumu önemli ölçüde etkilemiştir. Bu devrimler; ilk makinelerin hayatımıza girmesi endüstri 1.0, elektriğin üretim araçlarında kullanımı endüstri 2.0, otomasyonun yaygınlaşması endüstri 3.0 olarak tanımlanabilir. Günümüzde ise 3B yazıcılar ile birlikte endüstri 4.0 tartışılmaktadır.

Bu çalışmada endüstri 4.0 yolunda önemli bir yeri olan 3B yazıcılar üzerine kapsamlı bir değerlendirme yapılmıştır. Mevcut 3B yazıcı teknolojileri hakkında derlenen bilgiler sunulmuştur. 2015 ve 2020 yılları arasında 3B yazıcılarla yapılmış olan dikkat çekici çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde 3B yazıcıların; otomotiv, biyomedikal, uzay ve havacılık gibi alanlarda öne çıktığı görülmektedir. Gelecekte önemli yer tutacak olan 3B yazıcı teknolojileri başlı başına bir çalışma konusu olmanın yanı sıra farklı disiplinlerdeki araştırmacılar için önemli bir araç olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** 3 B yazıcı teknolojileri, eklemeli imalat teknolojileri, lazer teknolojisi, 3-D eklemeli imalat yöntemi, endüstri devrimi

## Industry 4.0 and Comparison Of 3D Printers

### ABSTRACT

Three revolutionary developments in production technologies known as the industrial revolution have significantly affected the society. These revolutions; The introduction of the first machines into our lives can be defined as industry 1.0, the use of electricity in production tools as industry 2.0, and the widespread use of automation as industry 3.0. Today, industry 4.0 is discussed with 3D printers.

In this study, a comprehensive evaluation has been made on 3D printers, which have an important place in the industry 4.0 road. Compiled information about current 3D printing technologies is presented. Examples of remarkable work done with 3D printers between 2015 and 2020 are presented.

When the studies are evaluated, 3D printers; It is seen that it stands out in areas such as automotive, biomedical, space and aviation. 3D printer technologies, which will take an important place in the future, will be an important tool for researchers in different disciplines as well as being a subject of study in itself.

**Keywords:** 3D printer technologies, additive manufacturing technologies, laser technology, 3-D additive manufacturing method, industrial revolution.

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 06.04.2021

Kabul/Accepted : 16.07.2021

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü  
fatihyuran@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-2105-2614

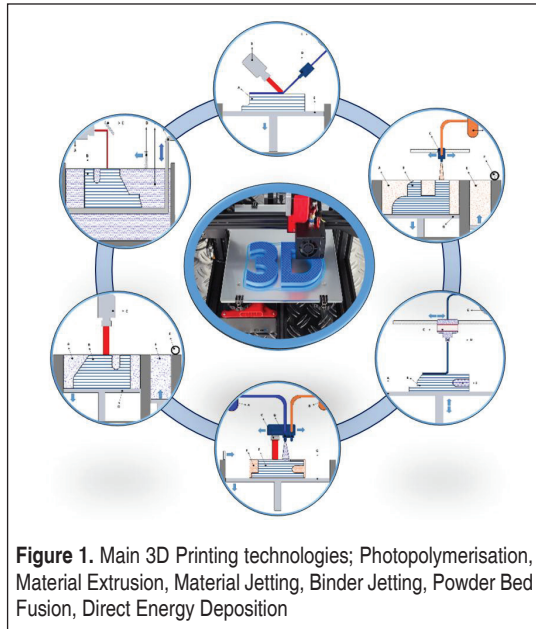
<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü  
iyavuz@aku.edu.tr, ORCID: 0000-0002-4480-2342

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction/ Background

Industry, with its role involving automated production processes, is the most critical part of the economy. Technological leaps in the 18th, 19th, and 20th centuries led to paradigm shifts formerly known as “Industrial Revolutions.” Throughout history, there have been three main revolutions in the industry. The first revolution comes with the steam engine, which leads to mechanization. The second revolution involves mass production with the automation of machines. Moreover, the third revolution begins with the rise of digital technologies like computers, software, the internet, etc. According to the time when it takes place, industrial revolutions are called consecutively 1.0, 2.0, and 3.0.

Industry 1.0 led to the change of production paradigms by mechanization. While production was almost entirely dependent on human resources before, machines started to take the basis of production after this revolution. Industry 2.0 was triggered by the widespread use of electrical energy in manufacturing systems. After this revolution, manufacturing systems were automated, and mass production increased rapidly. Thus, the concept of mass production has replaced the traditional production methods involving craftsmanship. With mass production, many products can be produced in a much shorter time than before. Industry 3.0 began with the incorporation of electronics, computers, and software into manufacturing systems. At the same time, information technologies played an essential role in mass production. With this revolution, computer-controlled machines and new generation technologies have played an inevitable role in production systems.



**Figure 1.** Main 3D Printing technologies; Photopolymerisation, Material Extrusion, Material Jetting, Binder Jetting, Powder Bed Fusion, Direct Energy Deposition

### Methods/Methodology

Now we are at the beginning of the fourth industrial revolution. Industry 4.0 has entered our lives after 2010 with concepts such as robotics, 3D printers, nanotechnologies, and the internet of things (IoT). 3D printers are vital manufacturing systems for Industry 4.0. It is possible to produce the most complex parts with 3D printers, which traditional production methods cannot produce. At the same time, 3D printers are more suitable devices for the spirit of Industry 4.0.

Traditional manufacturing systems, known as subtractive manufacturing, involve removing sections of material by machining or cutting it. 3D printers use a process that adding material layer by layer to create an object. This process is often referred to as Additive Manufacturing. There are many different types of 3D printers and technologies that are used for successive adding of layers. The American Society has made the basic definitions and classifications of 3D printers of Testing and Materials. 3D printers produce layers using seven basic principles; Binder Jetting, Direct Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion, Sheet Lamination, Vat Photopolymerization. There are more than twenty different types of printers that use each technique, with slight differences between them. Having such a large number of 3D printer types and different



technologies makes it difficult for engineers to master these manufacturing systems. 3D printers, which will take a crucial role among the future production tools, should be better known by the engineers. The schematic view of 3D printers in different designs is given in Figure 1.

Engineers will encounter more and more 3D printers in the future. This study aims to give brief information about all 3D printer technologies. A comprehensive evaluation has been made on different 3D printer technologies through this review. For this purpose, understandable and straightforward visuals have been prepared to understand the information about the 3D Printers better. The visuals present the basic principles of each 3D printer technology to the reader in an easy way. 3D printer technologies have some pros and cons compared to each other. Each type of 3D printer produces its unique raw materials like metal powders, thermoplastics, ceramics, etc. Figure 2 gives examples of metal printers and different designs. The mechanical properties, chemical properties, and aesthetic properties of the product can vary using a different type of 3D printer with the same raw material. The engineer has to choose the 3D printer technology and the appropriate raw material suitable for the application.



Many researchers predict that we are at the beginning of a new industrial revolution under the name of “Industry 4.0” of the period we live in. One of the most critical technologies in the Industry 4.0 revolution is 3D printers. 3D printers have been used in many sectors, especially in biomedical, automotive, aerospace, and aviation. When 3D printer technologies emerged in the early ‘90s, it was planned to be used for prototyping purposes. By 2020 3D printers are used for both prototypes and final products. This situation shows that 3D printing technologies are on the way to becoming a key concept in Industry 4.0 revolution.

### Discussion and Conclusions

In recent years, there are many excellent studies conducted by researchers from different disciplines with 3D printers. In this review, some examples of 3D printer applications made between 2015 and 2020, are presented. When the studies are examined, it is seen that fields such as automotive, biomedical, aerospace, and aviation are the main application areas of 3D printers. More complex, lighter, and customized products can be produced with 3D printers. Therefore, it is understandable that 3D printers are commonly used in these areas where such products and structures are mostly needed.

With Industry 4.0, additive manufacturing is increasing its influence day by day, not only in the manufacturing industry but also in all sectors. It is quite clear that 3D printers will be more significant in every aspect of our daily lives. Developing new 3D printer technologies is a matter of study on its own. Besides, 3D printers are used in niche applications of different research areas. This review article will be an essential start for engineers to know different 3D printing technologies.





## 1. GİRİŞ

Sanayi veya diğer adıyla endüstri, mekanize ve otomatikleştirilmiş üretim süreçlerini içeren rolü ile ekonominin en önemli parçasıdır. Avrupa’da 18., 19. ve 20. Yüzyıllarda yaşanan teknolojik sıçramalar bugün eski adıyla “endüstriyel devrimler” olarak adlandırılan paradigma kaymalarına yol açmıştır [1]. Endüstride tarih boyunca makineleşme, seri üretim ve dijitalleşme olmak üzere üç ana devrim yaşanmıştır. Birinci endüstri devrimi (Endüstri 1.0) su ve buhar gücünün keşfi ile makineleşmeyi sağlayarak üretimin değişimine yol açmıştır. Daha önce üretim neredeyse tamamen insan gücüne bağılıken bu devrim sonrasında üretimin temelini makineler almaya başlamıştır. İkinci endüstri devrimini (Endüstri 2.0) elektrik enerjisinin kullanım alanının yaygınlaşması tetiklemiştir. Birinci endüstri devriminde ortaya çıkan ve yaygınlaşan makineler, ikinci endüstri devrimi ile birlikte elektrik enerjisi ile çalışma imkânı kazanmıştır. Böylece; sanat ve zanaat içeren eski üretim yöntemlerinin yerini seri üretim kavramı almıştır. Seri üretim ile çok sayıda ürün eskisine göre çok daha kısa zamanda üretilebilmektedir. Üçüncü endüstri devrimi (Endüstri 3.0); üretimde elektronik sistemlerin kullanımı ve bilgi teknolojilerinin üretime dahil edilmesi ile yaşanmıştır. Bu devrim ile birlikte yeni nesil makine ve tezgahlar geliştirilmiş, üretimde otomasyon önem kazanmıştır. Dördüncü endüstri devrimi ya da diğer adıyla Endüstri 4.0 ise robotik, 3B (üç boyutlu) yazıcılar ve nano teknolojilerde yaşanan gelişmeler ve nesnelerin interneti (IoT) gibi kavramlar ile birlikte hayatımıza girmiştir. 3B yazıcılar sahip oldukları potansiyel nedeniyle endüstri 4.0 için hayati öneme sahiptir [2]. Geleneksel üretim yöntemleri ile üretilemeyecek parçaların 3B yazıcılar ile üretilebilmesi mümkündür. Aynı zamanda klasik üretim tezgahlarının sahip olamayacağı kadar dijital üretime yatkın, Endüstri 4.0 ruhuna uygun, cihazlardır.

3B yazıcılarla ilgili ilk ticarileşen patent Charles W. Hull tarafından 1991’de alınmıştır [3]. Stereolitografi (SLA) teknolojisi sıvı bir polimerin ışık ile kürlenmesi esasına dayanır. 1990’lı yılların başlarında S. Scott Crump, Stratasys firması adına Ergimiş Filament Üretimi (FDM) teknolojisini kullanan bir cihaz ile ilgili patent alınmıştır [4]. Yine yakın zamanda hammadde olarak toz malzemeler kullanan Seçici Lazer Sinterleme (SLS) esasına dayanan bir başka cihazın patenti alınmıştır [5]. 1990’ların başında patentleri alınan bu cihazların tamamı bilgisayar ve yazılım destekli üretim sistemleriydi ve öncelikli amaçları prototip üretimiydi. 3B yazıcıların ilk örnekleri olan bu çalışmalar endüstrinin farklı kollarında daha çok kullanılmaya ve yıllar içinde daha çok talep görmeye başladı. Özellikle medikal [6], otomotiv [7], uzay [8] ve havacılık [9] gibi alanlarda 3B yazıcılar her geçen gün çok daha fazla kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada mevcut 3B yazıcı teknolojileri üzerine kapsamlı bir derleme yapılmıştır. 3B yazıcı teknolojilerinin çalışma prensipleri açıklanmış ve birbirleri arasındaki farklar karşılaştırılmıştır. 3B yazıcı teknolojilerinin her biriyle ilgili 2015 – 2020 yılları

arasında yapılan önemli çalışmalardan örnekler sunulmuştur. 3B yazıcı teknolojilerinin gelecekteki durumuna yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

## 2. 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ

3B yazıcıların tamamı malzemelerin katmanlar halinde birbirine eklenmesi prensibine göre üretim yapar. Ancak katmanların birbirine eklenmesi sürecinde farklı teknikleri ve malzemeleri kullanan yazıcı türleri vardır.

**Tablo 1.** 3 Boyutlu Yazıcı Teknolojileri ve Malzeme Türleri

İşlem Kategorileri	Teknoloji	Malzeme
Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting)	Mürekkep Püskürtme (Ink Jetting) S Print M Print	Metal Polimer Seramik
Doğrudan Enerji Biriktirme (Direct Energy Deposition)	Doğrudan Metal Biriktirme (Direct Metal Deposition) Lazer Biriktirme (Laser Deposition) Lazer Consolidation Elektron Işını Ergitme (Electron Beam Direct Melting)	Metal Tozları Tel Metal
Malzeme Ekstrüzyonu (Material Extrusion)	Ergimiş Filament Üretimi (Fused Deposition Modelling) Ergimiş Filament Üretimi (Fused Filament Fabrication)	Polimer
Malzeme Jeti (Material Jetting)	Çoklu Püskürtme (Polyjet) Mürekkep Püskürtme (Ink Jetting) Thermojet	Fotopolimer
Toz Yatak Füzyonu (Powder Bed Fusion)	Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering) Seçici Lazer Ergitme (Selective Laser Melting) Elektron Işını Ergitme (Electron Beam Melting)	Metal Polimer Seramik
Sac Laminasyon (Sheet Lamination)	Tabakalı Nesne Üretimi (Laminated Object Manufacturing) Ultrasonik Katmanlı Üretim (Ultrasonic Consolidation)	Metal Seramik
Fotopolimerizasyon (Vat Photopolymerization)	Stereolitografi (Stereolithography) Dijital Işık İşleme (Digital Light Processing)	Fotopolimer Seramik

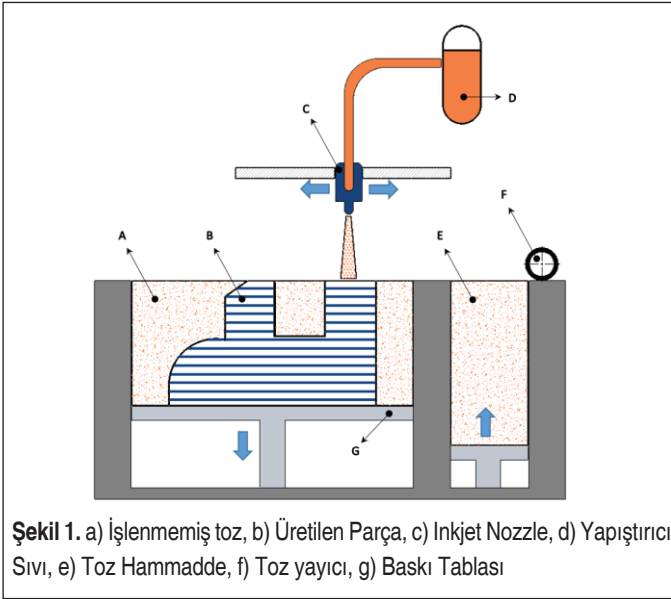
3B yazıcılar ile ilgili temel tanımlar ve sınıflandırmalar American Society of Testing and Materials (ASTM) tarafından yapılmıştır [10]. ASTM'nin işlem süreçlerini, teknolojileri ve bu teknolojilerle kullanılabilen malzemeler Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tabloda 1'den de görüldüğü gibi 3B yazıcıların kullandığı işlem kategorilerini 7 ana başlıkta incelemek mümkündür. Bu ana teknolojiler; Binder Jetting, Direct Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion, Sheet Laminations, ve Vat Photo-Polymerization olarak adlandırılır.



## 2.1 Bağlayıcı Püskürtme (Binder Jetting)

Massachusetts Institute of Technology (MIT)'de yapılan çalışmalarla keşfedilmiş bu teknoloji "3D Printer" adıyla patentlenmiştir. Binder Jetting (BJ) 3B yazıcılar genel olarak ince toz hammaddenin üzerine bir yapıştırıcı kimyasal uygulamasıyla katmanların oluşturulduğu teknolojidir [11]. Seramik esaslı veya metal tozları hammadde olarak kullanılabilir [12]. Yazıcının nozul'ları baskı tablası üzerinde hareket ederek toz partiküllerinin üzerine kimyasal yapıştırıcı damlacıklarını püskürtür. Katmanın üretimi tamamlandığında baskı tablası "z" ekseninde katman kalınlığı kadar aşağıya iner ve diğer katmanın üretimi başlar. Bütün katmanların üretimi tamamlandığında ürünün tamamlanabilmesi için son işlem (post-processing) yapılması gerekir.

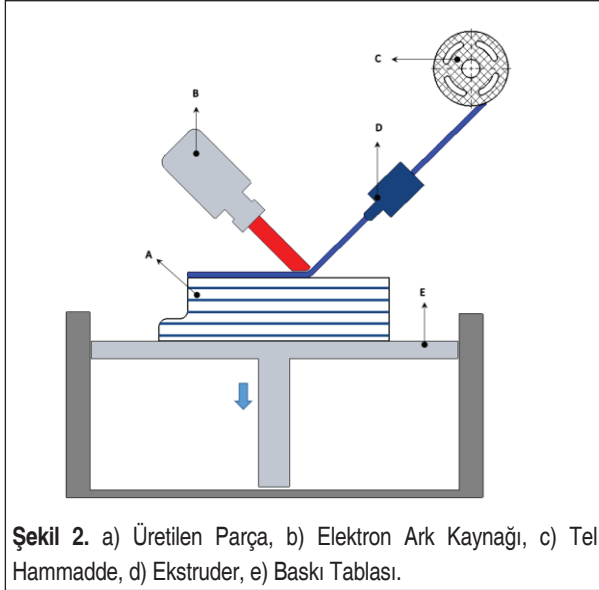


Son işlemler, üretim sırasında kullanılan malzemeye göre bazı durumlarda endüstriyel bir fırında fırınlama veya başka bir malzemenin ürüne emdirilmesi işlemlerini içerebilir [12]. Ürünlerin renklendirilmesi için akrilik veya başka bir kaplama işlemi de gerekebilir. BJ 3B yazıcıdan çıkan ürünlerin porozitesi yüksektir ve dolayısıyla mekanik özellikleri oldukça zayıftır. Uygulanan son işlemler ile ürünün porozitesi azaltılır ve mekanik özellikleri nispeten iyileştirilir. BJ 3B yazıcılar ile yapılan üretim oda sıcaklığında gerçekleştirilir. Katmanların veya hammaddenin birbirine bağlanması için ısıtma işlemi gerekmez. Bu nedenle FDM, SLS veya DMSL gibi sıcaklık nedeniyle üründe çarpılmalar meydana gelmez. Bütün 3B yazıcı türleri arasında BJ 3B yazıcıların üretim hacmi en fazla olanıdır. 2200 x 1200 x 600 mm'e kadar büyüklükte ürünlerin üretilmesi mümkündür. Bu boyutlar aynı baskı tablası üzerinde çok sayıda ürün üretimine de imkân tanır.

## 2.2 Doğrudan Enerji Biriktirme (Direct Energy Deposition)

Doğrudan enerji biriktirme (DED) prensibi ile üretimin esası tel veya toz haldeki hammaddenin doğrudan ergitilerek katmanların üretimini sağlanmasıdır [13]. Bu süreçte hammadde doğrudan yüksek ısı kaynağı ile birlikte baskı tablası üzerine dökülür [14]. Hammadde tel halde veya toz halde olabilir. Kullanılan ısı kaynağı lazer veya plazma ark kaynağı olabilir. DED prensibini kullanan 3B yazıcılar doğrudan yeni bir parçanın üretimini yanı sıra hasarlı parçaların onarımı için de kullanılabilir [15]. Bu prensip ile çalışan yazıcılar genellikle endüstriyel düzeyde kullanılmaktadır ve operatörlüğü için kontrollü ortamlara ihtiyaç duyarlar. Dolayısıyla DED yazıcılar genellikle kapalı bir kabin içerisinde ve nozzle hareketi çok eksenli robot kollar ile sağlanır. Bu prensibin uygulaması Lazerle Tasarlanmış Şekillendirme (Laser Engineered Net Shape) (LENS) ve Elektron Işını Eklemeli İmalatı (Electron Beam Additive Manufacture) (EBAM) 3B yazıcı teknolojilerinde kullanılmaktadır.

Lazerle Tasarlanmış Ağ Şekli (Laser Engineered Net Shape) (LENS): LENS 3B yazıcılarda hareketli bir taşıyıcı üzerinde güçlü bir lazer ve toz partikülleri püskürtebilen bir nozzle bulunur [16]. Bütün üretim işlemi kapalı ve içinde argon gazıyla dolu bir kabin içinde gerçekleştirilir. Böylece ortamdaki oksijen ve nem oranı düşük tutularak, ürünün oksidasyona uğraması engellenir [17]. Taşıyıcı kafa üzerinde bulunan lazer, üretimin yapıldığı bölgede bir ergime alanı oluşturur ve toz bu bölgeye ulaştığı anda ergir. Ergiyik haldeki toz döküldüğü alanda katlaşıp katman oluşturur. Bütün katmanlar üretildikten sonra parçaya gerekliyse ısıl işlemler veya diğer geleneksel yöntemlerle son işlem uygulanabilir.



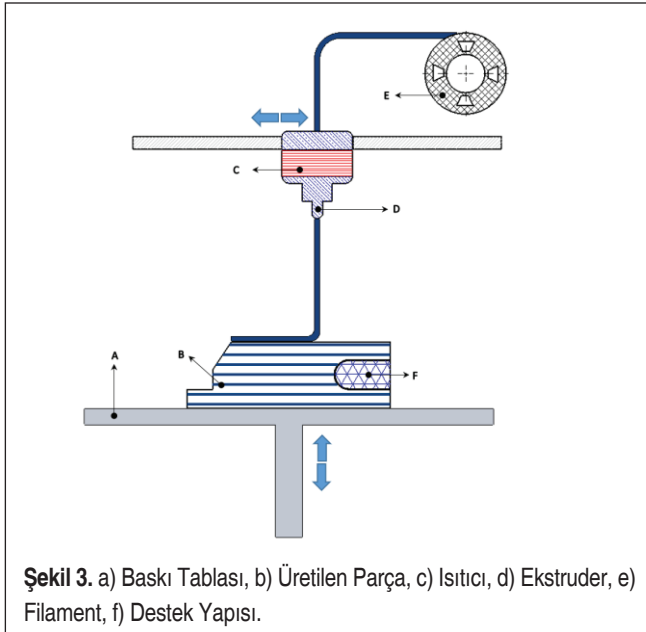
Şekil 2. a) Üretilen Parça, b) Elektron Ark Kaynağı, c) Tel Hammadde, d) Ekstruder, e) Baskı Tablası.



Elektron Işını Eklemeli İmalatı (Electron Beam Additive Manufacture) (EBAM): EBAM 3B yazıcılarda hammadde olarak tel veya toz halde metaller kullanılabilir. Titanyum, tantalum ve nikel hammaddeler ile üretim yapılabilir. Kaynak ve elektron ışını kaynakları üzerine uzmanlaşmış bir firma olan Sciaky patentli bir teknolojidir. LENS 3B yazıcılarla benzer şekilde çalışır ancak ısı kaynağı lazer yerine elektron ışınıdır ve vakumlu bir kabinde üretim gerçekleştirilir [18]. Bu teknoloji aynı zamanda hasarlı parçaların tamiri ve düzeltilmesi için de kullanılmaktadır.

### 2.3 Malzeme Ekstrüzyonu (Material Extrusion)

Hammaddenin bir nozzle'ın içinde işleminden geçirilerek baskı tablası üzerinde istenen bölgeye katmanlar halinde dökülerek üretim yapılması prensibidir. Nozzle üretilecek olan parçanın kesiti boyunca tabla üzerinde hareket eder. Bu prensibi kullanan yazıcılar Ergimiş Filament Üretimi: (Fused Deposition Modeling) (FDM) veya Ergimiş Filament Üretimi (Fused Filament Fabrication) (FFF) olarak bilinir. En yaygın olarak kullanılan yazıcılardır.



Ergimiş Filament Üretimi (Fused Deposition Modeling) (FDM): FDM 3B yazıcılarda hammadde olarak ABS, PLA veya Ultem gibi termoplastikler kullanılır [19]. Bu termoplastikler tel haldedir ve Filament olarak adlandırılır. FDM 3B yazıcılarda baskı tablası 2 veya 3 ekseninde hareket edebilir. Nozzle termoplastiğin camısı geçiş sıcaklığı-





spreylenir katman katman parça oluşturur. Kafa üzerindeki nozzle sayısının fazla olması sayesinde diğer 3B yazıcılardaki gibi noktasal olarak üretim yapmak yerine çizgisel bir alanda üretim yapılır. Böylece üretim hızı nispeten daha yüksektir. Damlacıklar, baskı tablasında biriktikçe, UV ışığı kullanılarak kürlenir. UV ışığına maruz kalan bölgeler katılır. Farklı malzemelerle eş zamanlı üretim yapma imkânı sayesinde parça üzerinde oluşturulan destek yapılar ana parçadan farklı bir malzemeden üretilebilir. Böylece üretim sonrasında destek malzemelerin sökülmesi için gerekli olan son işlem (post-processing) sürecini kolaylaştırır. MJF 3B yazıcılarda ABS, kauçuk benzeri plastikler ve şeffaf plastikler hammadde olarak kullanılabilir. Bu özelliği sayesinde görsel anlamda diğer 3B yazıcılara göre daha iyi ürünler elde etmek mümkündür.

MJF 3B yazıcılarda hammadde olarak kullanılan sıvı reçinenin spreylenebilmesi için ideal viskoziteye sahip olması gerekir. İstenen viskozite reçinenin 30-60 0C sıcaklığa ısıtılmasıyla sağlanır [21]. Daha sonra reçine yazıcının hareketli kafası baskı tablası üzerinde hareket ederken çok sayıdaki nozzlelardan yüzlerce küçük damlacıklar halinde spreylenebilir. Yazıcının hareketli kafası üzerinde bir de UV ışık kaynağı bulunur. Damlacıklar baskı tablasına yapıştıkça eşzamanlı olarak UV kürlenme işlemi gerçekleştirilir. UV ışığın temas ettiği yüzeyler katılır. İlgili katman üretildikten sonra baskı tablasının z ekseninde katman kalınlığı kadar hareket eder ve diğer katmanın üretim süreci başlar. MJF 3B yazıcılar da SLA yazıcılar gibi fotopolimerizasyondan faydalanarak üretim yaparlar. Ancak MJF 3B yazıcılar SLA yazıcılardaki gibi sonradan tekrar ışık kürüne ihtiyaç duymazlar.

MJF 3B yazıcılarda operatör kontrolü oldukça kısıtlıdır. Yazıcıya ait çok az parametreye müdahale edilebilir. Örneğin; diğer bütün yazıcılarda katman kalınlığı operatör tarafından belirlenebilirken, MJF 3B yazıcılarda katman kalınlığı kullanılan hammaddeye bağlı standart olarak belirlenir. Bunun nedeni nozzle'lardan püskürtülen damlacıkların oluşumunun fiziksel anlamda çok zor olmasıyla ilgilidir [22]. MJF 3B yazıcılar için bir diğer farklı özellik üretimi renkli yapabilmesi nedeniyle STL dosyalarının yerine ürünün renk bilgisini de barındıran OBJ veya VRML dosya türüyle çalışılması gerekir. MJF 3B yazıcılar ile her ne kadar renkli ve görsel anlamda ilgi çekici ürünler üretilebilse de mekanik özellikleri açısından oldukça zayıftır [23]. Dolayısıyla fonksiyonel ürünlerin üretimi bu teknoloji ile kolay değildir.

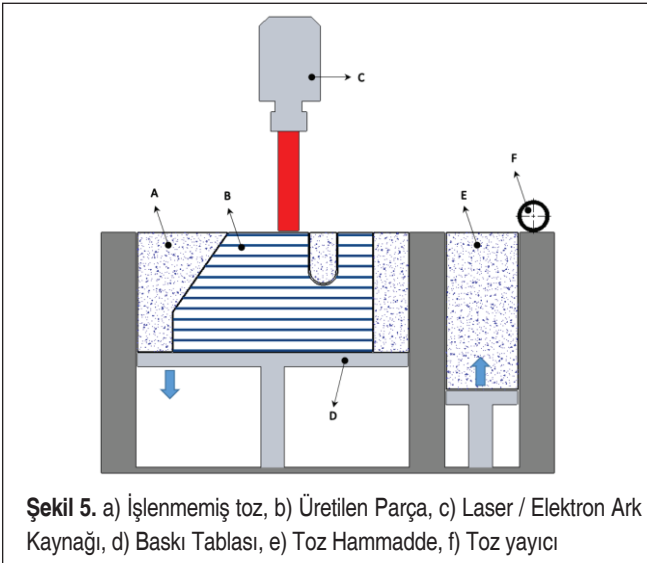
**Nano Parçacık Püskürtme (Nano Particle Jetting) (NJP):** NPJ 3B yazıcılar içinde metal veya seramik nanopartiküller barındıran bir sıvıyı hammadde olarak kullanır. Üretim 250 0C sıcaklığındaki bir baskı tablasında gerçekleştirilir. Bu sıcaklık sayesinde nanopartiküller ve sıvı karışım halde spreylenebilmesine rağmen tablaya ulaştığında sıvı buharlaşır ve geriye sadece metal partiküller kalır. Xjet firması tarafından ticarileştirilen bu teknolojiye zirkonya ve 316L paslanmaz çelik malzemeler ile üretim yapılabilir [24]. Üretim sırasında parçanın gerekli bölgelerine suda çözünebilir destek

malzemesi uygulanır. Üretilen parçaya yazıcıdan çıktıktan sonra bir takım son işlem uygulanması gerekir. Parça suda bekletilerek destek malzemelerinin suda çözülmesi gerekir. Ardından parça üzerinde kalan yapıştırıcı kimyasalların temizlenmesi için fırında ısıl işlem uygulanır.

**Sıvı metal damlacık 3 boyutlu yazıcı (Drop-On-Demand) (DOD):** DOD 3B yazıcılar, MJF 3B yazıcılarla oldukça benzer prensiplerle üretim yapar. DOD 3B yazıcılarda spreyleme için iki adet kafa bulunur. Bu kafalardan biri balmumu benzeri hammaddeyi püskürtürken, diğeri çözülebilir destek malzemesi için kullanılır. MFJ yazıcıların hammadde sürekli olarak spreylenebilirken DOD 3B yazıcılarda sadece gerekli zamanda gerekli bölgeye spreylenebilir [25]. Diğeri 3B yazıcılardan farklı olarak bir üst katmanın daha düzgün bir zemin üzerine örülmesi için önceki katman üzerinde düzleştirmek için ek bir işlem uygulanır.

## 2.5 Toz Yatak Füzyonu (Powder Bed Fusion)

Powder Bed Fusion (PBF) teknolojileri, toz parçacıklarına katmanlar oluşturacak şekilde ergitilerek veya sinterlenerek birbirine kaynatılması prensibini kullanır. Toz halindeki hammadde erime sıcaklığı altındaki bir sıcaklığa belli bir süre maruz bırakıldığında parçacıklar birbirlerine temas ettikleri noktalardan başlayarak birbirine kaynamaya başlar [26]. Burada kullanılan hammadde plastik veya metal toz parçaları olabilir. PBF 3B yazıcılar, üretim sürecinde lazer veya elektron ışını gibi kullandığı enerji kaynaklarına göre ile farklılaşır. Selective Laser Sintering (SLS), Selective Laser Melting (SLM), Electron Beam Melting (EBM) ve Multi Jet Fusion (MJF) bu prensibi kullanan farklı teknolojilerdendir.



Şekil 5. a) İşlenmemiş toz, b) Üretilen Parça, c) Lazer / Elektron Ark Kaynağı, d) Baskı Tablası, e) Toz Hammadde, f) Toz yayıcı





**Seçici Lazer Sinterleme (Selective Laser Sintering) (SLS):** SLS 3B yazıcılarda, hammadde olarak plastik, cam veya seramik ince toz malzemeler kullanılır. Katmanların üretilmesi için toz parçacıklar güçlü bir lazer kaynağı ile sinterlenir. Süreç, baskı tablası üzerine ince bir toz tabakasının serilmesiyle başlar. Serilen toz katmanı 0,1 mm ve bazı uygulamalarda çok daha incedir [27]. Toz katmanı serildikten sonra parçanın üretilen kesit geometrisine uygun konulara lazer odaklanır. Lazerin odaklandığı bölgedeki toz tanecikleri sinterlenerek katlaşır ve birbirine yapışır [28]. Üretilen parçanın ilgili kesitinin tamamı katılaştıktan sonra baskı tablası z ekseninde katman kalınlığı kadar aşağı doğru iner. Tekrar yeni bir toz katmanı serilir. İşlem, istenen parçanın tamamı üretilinceye kadar tekrar eder. Süreç tamamlandığında, baskı tablası üzerinde tamamen sinterlenmemiş toz parçacıklarının arasında katlanmış son ürün bulunur. Hazne ve ürün soğuduktan sonra tabladan çıkarılır ve etrafındaki tozlardan temizlenir. Tozların temizlenmesi için kompresör ve fırçalardan faydalanılır. Kalan tozlar tekrar kullanılabilir. Ürün daha sonra son işlemler (post-processing) uygulanarak kullanıma hazır hale gelir.

**Seçici Lazer Eritme (Selective Laser Melting) (SLM) ve Doğrudan Metal Lazer Sinterleme (Direct Metal Laser Sintering) (DMLS):** Metal 3B yazıcılar terimi genellikle en çok bilinen bu 3B yazıcı türleri için kullanılır. SLM ve DMLS 3B yazıcılar, SLS 3B yazıcılar ile oldukça benzer prensipleri kullanan teknolojilerdir. Hammadde olarak kullandıkları tozlar nedeniyle birbirlerinden farklılaşırlar. SLS 3B yazıcılarda hammadde olarak plastik, cam veya seramik ince toz malzemeler kullanılırken, SLM ve DMLS 3B yazıcılarda metal tozları kullanılır. SLM 3B yazıcılar metal tozlarını tamamen eriterek birbirleri ile birleşmesini sağlar. DMLS 3B yazıcılar ise tozları tamamen eritmek yerine eritime noktasına yakın sıcaklıklara ulaştırır [29]. Böylece toz parçacıklarının kimyasal olarak bağlanmalarına imkân tanıyacak kadar ısıtır. Dolayısıyla iki teknoloji birinin eritime diğerinin sinterleme kullanmasıyla birbirinden farklılaşır. Ortak yönleri ise; her ikisinin de toz halindeki partiküllere lazer kaynağı ile seçici olarak işlem yapmasıdır. SLM 3B yazıcılar tek türde metal tozlarıyla üretim yapabilirken, DMLS 3B yazıcılar metal alaşımları kullanarak üretim yapabilir.

SLM ve DMLS 3B yazıcılarla yapılan üretimin temel bileşenleri birbirine oldukça benzerdir. Üretim izolasyonlu kapalı bir kabin içinde gerçekleştirilir. Kapalı kabinin içi argon gibi inert gazlar ile doldurulur. Daha sonra toz hammadde gerekli üretim sıcaklığına kadar ısıtılır. Çok ince bir tabaka halinde metal tozları baskı tablasına serilir. Yüksek güçteki bir lazer kaynağı üretilen kesit geometrisine göre metal tozlarını tabla üzerinde eritir. Bu esnada metal tozları hem baskı tablasına hem de birbirine kaynatılmış olur. Daha sonra baskı tablası katman kalınlığı kadar z ekseninde alçaltılır ve aynı işlem parça geometrisinin ikinci katmanı için gerçekleştirilir. Bu yazıcılarda katman kalınlıkları kullanılan tozların özelliklerine bağlı olarak 20-50 mikron kadar olabilir [30]. Parçanın tüm kesiti katman katman aynı şekilde işlenir ve üretim tamamlanır.

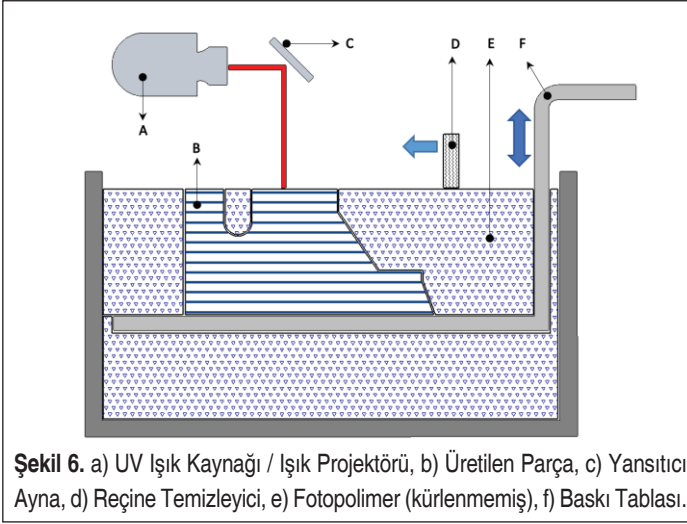
Üretim tamamlandığında işlenmemiş toz partiküller ve ürün haline gelmiş parça birbiri içinde bulunur. Kabin soğutulur ve daha sonra ürün için son işlemler (post-processing) uygulanır. Ürün baskı tablasına kaynamış halde üretildiği için EDM veya talaşlı imalat yöntemleri ile baskı tablasından ayrılması gerekir. Üretim sırasında oluşturulan destek yapıların temizlenmesi gerekir. Aynı zamanda kumlama ve benzeri uygulamalarla parça yüzeyi daha iyi hale getirilebilir. Bu yazıcılarla üretilen parçaların toleransları  $\pm 0.1$  mm civarındadır. SLM ve DMLS 3B yazıcılarda kullanılan toz hammadde açısından bakıldığında sarfiyatı oldukça azdır. Üretim sonrasında baskı tablasına yayılan tozların sadece %5'i kullanılamaz hale gelir. Dolayısıyla ürünün üzerinden temizlenen tozların çoğu tekrar kullanılabilir. Kayıplar sadece kullanılan destek yapılarından kaynaklanır. Dolayısıyla karmaşık ve çok destek yapısı gerektiren parçalarda toz maliyeti artacaktır. Aynı sebeple ürünün tasarımı ve üretim sırasında baskı tablasına konumlandırılması sırasında daha az destek yapısına ihtiyaç duyacak şekilde optimize edilmesi gerekir.

**Elektron Işını Erime (Electron Beam Melting) (EBM):** EBM 3B yazıcılar elektron ışını ile metal toz partiküllerin ergitilmesi prensibiyle üretim yapar [31]. İsveç'te bulunan Arcam firması bu yazıcılardaki öncü firmadır. DMLS yazıcılar ile arasındaki fark EBM'de lazer yerine ısı kaynağı olarak elektron ışınlarının kullanılmasıdır. Bunun yanında EBM 3B yazıcılarda vakumlu bir kabin kullanılır. Aynı zamanda hammadde olarak kullanılan tozların iletken olması gerekir. Bunun haricinde üretim prensipleri DMLS yazıcı ile oldukça benzerdir.

**Çoklu Jet Füzyon (Multi Jet Fusion) (MJF):** MJF 3B yazıcılar bir anlamda püskürtmeli kâğıt yazıcılara benzerdir. Zaten teknolojinin öncüsü olan firma (HP) kâğıt yazıcılar üreten bir firmadır. Üzerinde 2B kâğıt yazıcıların inkjet nozzle'larına benzer nozzle'lar bulunur. 2B yazıcılarda bu nozzle'lardan mürekkep püskürtülürken MJF 3B yazıcılarda ise toz plastik parçaların birbirine yapışmasını sağlayan kimyasal bir sıvı (fusing agent) püskürtülür [32]. MJF 3B yazıcıda hammadde olarak toz halde naylon veya poliamid (PA 11, PA 12 ve PA12) termoplastik malzeme kullanılır. Toz hammadde baskı tablasına serilir daha sonra üretilecek olan parçanın kesitine uygun şekilde agent ilgili bölgelere damlatılır. Süreç tamamlandıktan sonra katman ısıtılır. Isıtma işlemi esnasında damlatılan kimyasal ile temas eden toz partikülleri bağlanır ve katlaşır. SLS 3B yazıcılara benzer bir prensiple çalışan MJF 3B yazıcıların farkı ısı kaynağıdır. SLS yazıcılarda toz partiküllerini sinterlemek için ısı kaynağı olarak lazer kullanılır. MJF yazıcılarda ise toz partiküllerinin infrared ışığı absorbe etmesini kolaylaştıracak bir kimyasal kullanılır. Sonrasında infrared bir enerji kaynağı kullanılarak tozlar sinterlenir.

## 2.6 Fotopolimerizasyon (Photopolymerization)

Fotopolimerizasyon, bir fotopolimer reçinenin belirli bir dalga boyunun ışığına maruz



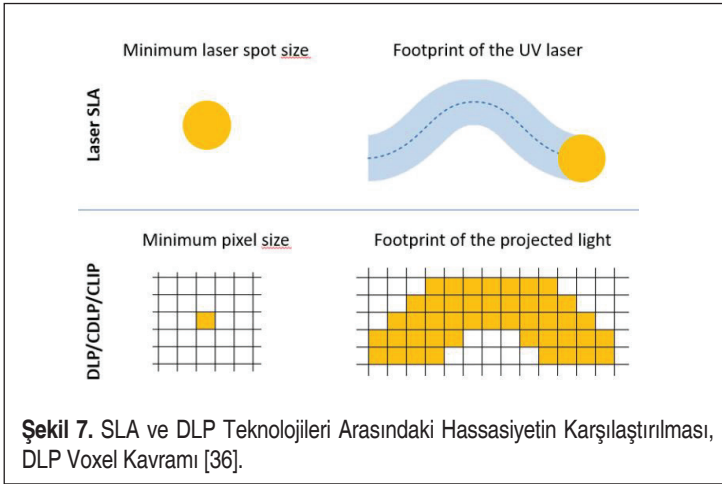
kaldığında kimyasal bir reaksiyonla katı hale geldiği süreçtir [33]. Bazı 3B yazıcılar katmanları oluşturmak için fotopolimerizasyon prensibini kullanır. Stereolithography (SLA), Direct Light Processing (DLP) ve Continuous DLP (CDLP) teknolojileri bu prensibe dayalı 3B yazıcılarıdır.

**Stereolitografi (SLA):** Bu teknolojiye sıvı fotopolimer reçineyle doldurulmuş bir hammadde haznesi vardır. Haznenin içinde bir baskı tablası bulunur. SLA’da kullanılan hammadde sıvı haldedir ve reçine olarak da adlandırılır. Reçine olarak ışığa duyarlı termoset polimerler kullanılır. Fotopolimerizasyon sırasında, sıvı reçineyi oluşturan monomer karbon zincirleri, UV lazerin ışığı ile aktive olur ve birbirleri arasında güçlü kırılmaz bağlar oluşturarak katlaşır [34]. Baskı tablası sıvı reçinenin içine daldırıldıktan sonra, makinenin içine yerleştirilen tek nokta lazerin değdiği bölge katlaşır. Böylece istenen katman oluşturulur. İlgili katmanın tüm kesiti üretildikten sonra, platform yukarı kalkar ve bu katmanın altında katlaşmamış sıvı reçinenin akmasına izin verir. Lazer bu noktada oluşturulacak nesnenin kesitine uygun bölgeleri tekrar katlaştırır ve bir önceki katmana yapışmasını sağlar. Bu işlem, katı bir parça üretmek için katman katman tekrarlanır.

SLA teknolojisinde üretilecek parçaların her bir katmanının yüksekliği 25-100 mikron arasında değişir [35]. Katman kalınlığı ne kadar düşük seçilirse, parçanın geometrisi daha doğru bir şekilde üretilebilir. Ancak bu durum üretim süresini ve maliyeti artırır. Üretimi yukarıdan aşağıya veya aşağıdan yukarıya doğru yapan SLA 3B yazıcılar vardır. Yukarıdan aşağıya üretim yapan SLA yazıcılarda lazer kaynağı baskı tablasının üzerine yerleştirir ve parça yukarı bakacak şekilde üretilir. Baskı tablası reçine haznesinin en üst kısmında ilk katmanı üretir ve üretilen her katmandan sonra aşağı doğru

hareket eder. Aşağıdan yukarıya üretim yapan 3B SLA yazıcılarda lazer kaynağı reçine haznesinin altına yerleştirir ve parça baş aşağı bakacak şekilde oluşturulur. Bu tip 3B SLA yazıcıların hem üretimi hem de kullanımı daha kolaydır. Ancak z ekseninde üretim yapabilmek kapasitesi diğer SLA 3B yazıcıya göre daha düşüktür. Katılaştırılmış parça sıvı reçinenin içinden yukarı doğru çekilirken sistem içinde oluşan kuvvetler ve parçanın kendi ağırlığı üretimi zorlaştırır. Bu durum aşağıdan yukarıya üretim yapan SLA 3B yazıcılarda sorun oluşturmaz. Bu nedenle daha profesyonel endüstriyel uygulamalarda aşağıdan yukarıya üretim yapan SLA yazıcılar tercih edilir. Formlabs ve 3D Systems sektörde pazar payı yüksek SLA 3B yazıcı üreticilerindedir.

**Doğrudan Işık İşleme (Direct Light Processing) (DLP):** DLP 3B yazıcılar, SLA 3B yazıcılar ile neredeyse aynı prensibe dayanarak üretim yapar. Aralarındaki temel fark, SLA 3B yazıcılarda ışık kaynağı olarak lazer kullanılırken, DLP 3B yazıcılarda ışık kaynağı bir projektördür. Lazer ilgili katmanı üretirken o katman üzerinde parçanın kesiti boyunca hareket ederken, projektör ile ilgili katmanın kesiti tek seferde üretilir. Ancak burada projektör ile katmanlar voksel adı verilen kare şeklinde pikseller ile üretilir [36].



Projektörün yansıttığı ışık alanının lazere göre çok daha büyük olması nedeniyle 3B DLP yazıcıların üretim hızı, SLA 3B yazıcılara göre daha fazladır. Hem SLA hem de DLP 3B yazıcılar ile üretilen parçalar için bazı son işlem (post-processing) süreçleri uygulanır. Parçalar yazıcıdan çıktıktan sonra destek yapılarının temizlenmesi gerekir. Parçanın mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi için UV ışığı ile son işlem olarak tekrar kürlenebilir. Bazı durumlarda üretilen parçaların yüksek sıcaklıktaki bir kabinde bekletilmesi ürünün dayanımını artırmak için gerekli olabilir.

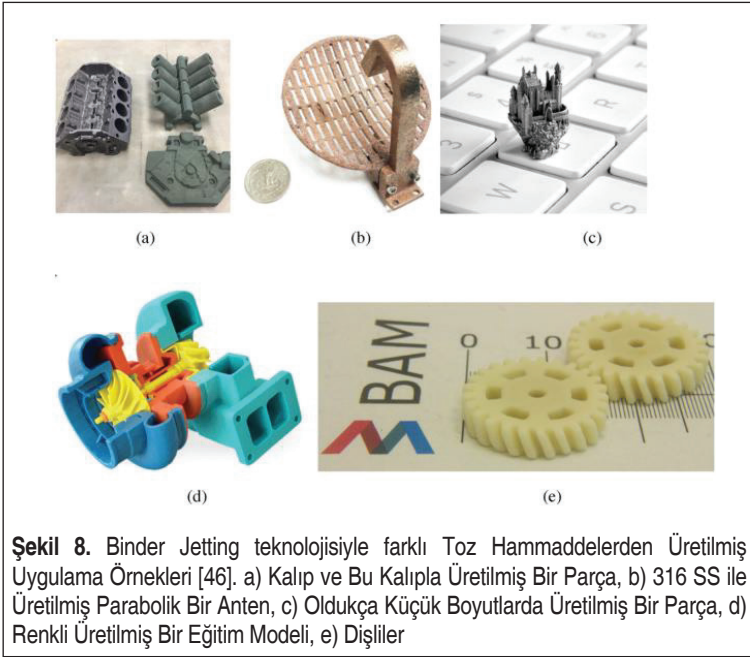


### 3. YÖNTEM

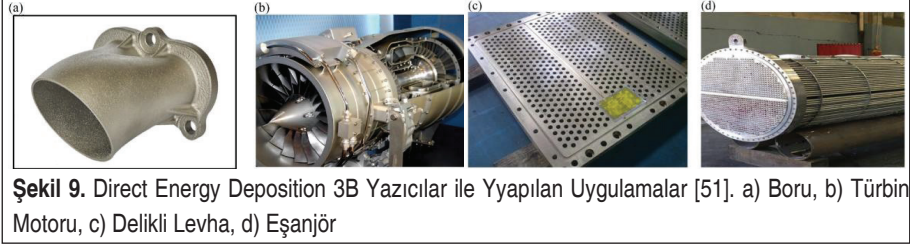
Çalışmada 2015 – 2020 Arasında Yapılan Çalışmalardan Örnekler

**Bağlayıcı Jeti (Binder Jetting) Çalışmaları:** BJ teknolojisi istenen herhangi bir toz malzeme ile çalışabilme potansiyeli açısından oldukça önemli bir teknolojidir. Bu özelliği ile döküm kalıpları (Resim 8a), medikal ve elektronik ile ilgili çok çeşitli alanlarda kullanılabilir. Aynı zamanda farklı tozlarla üretim yapabilme imkânı ürünlerin Resim 8d’de görüldüğü gibi renkli üretilmesine de imkân tanımaktadır.

Literatürde BJ 3B yazıcılar ile kum kalıbı ve seramik kalıp uygulamaları geniş yer tutmaktadır [37–41]. 3B yazıcılar ile karmaşık geometrilerin geleneksel imalat yöntemlerine göre çok daha kolay üretilmesi özellikle kalıp uygulamalarında önemli avantajlar sunmaktadır. Karmaşık geometrilerin yanı sıra ürünlerdeki yüksek toleranslı hassas işlemler de gerçekleştirilebilmektedir (Şekil 8c). BJ 3B yazıcılar son zamanlarda diş protezi [42,43], cerrahi implantlar [44] ve hatta farmakolojik [45] uygulamalarda da kullanılmaktadır.



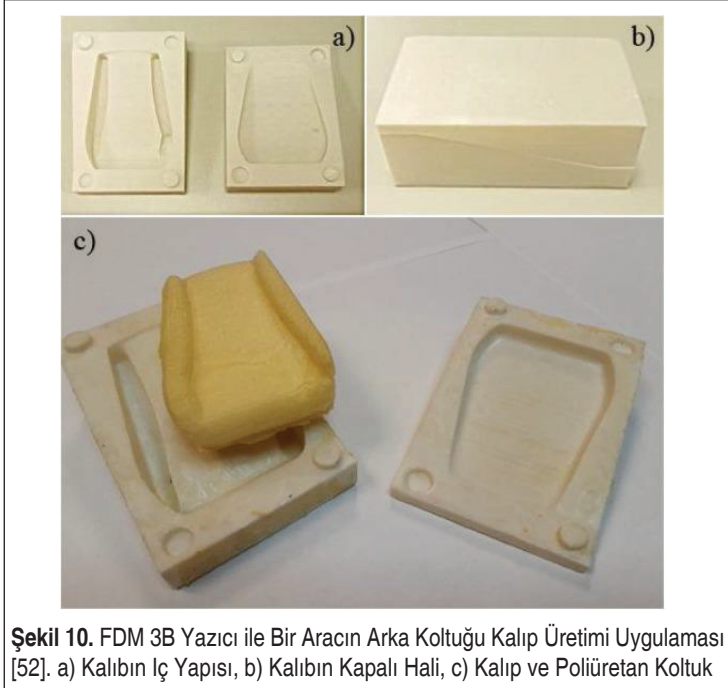
**Doğrudan Enerji Biriktirme (DED) Çalışmaları:** DED 3B yazıcılar son zamanlarda üzerinde daha çok çalışılmaya başlanmıştır. Otomotiv [47], uzay ve havacılık [48] endüstrilerinde DED 3B yazıcılar her geçen gün daha fazla uygulama alanı bulmaktadır. Otomotiv alanında hasarlı parçanın değiştirilmesi yerine mevcut parça-



**Şekil 9.** Direct Energy Deposition 3B Yazıcılar ile Yapılan Uygulamalar [51]. a) Boru, b) Türbin Motoru, c) Delikli Levha, d) Eşanjör

nın tamir edilmesi hem maliyet hem de hizmet süresi açısından önemlidir. Hasarlı ürünlerin tamiri için tungsten inert gaz kaynağı halen bu tür onarım işlemleri için öncelikli olarak kullanılan metottur. Ancak bu yöntemin dezavantajı parça üzerinde ısıdan etkilenen bölgelerin büyük olmasıdır. DED 3B yazıcılar bu anlamda ısı bölgesinin daha az tutulması olanağını sunmaktadır[49]. Aynı zamanda gaz kaynağına göre otomasyona çok daha yatkın bir teknolojidir. Endüstri 4.0 hedefi de göz önünde bulundurulduğunda önümüzdeki yıllarda DED 3B yazıcılar otomotiv sektöründe daha fazla uygulama alanı bulabilecektir.

Uzay ve havacılık endüstrilerinde kullanılacak olan bir parçanın mümkün olan en hafif yapıda olması beklenir. Bu anlamda DED 3B yazıcılar topoloji optimizasyonu yardımıyla geleneksel imalat yöntemleriyle elde edilemeyecek ürünlerin üretilmesine imkan tanır [50].



**Şekil 10.** FDM 3B Yazıcı ile Bir Aracın Arka Koltuğu Kalıp Üretimi Uygulaması [52]. a) Kalıbın İç Yapısı, b) Kalıbın Kapalı Hali, c) Kalıp ve Poliüretan Koltuk



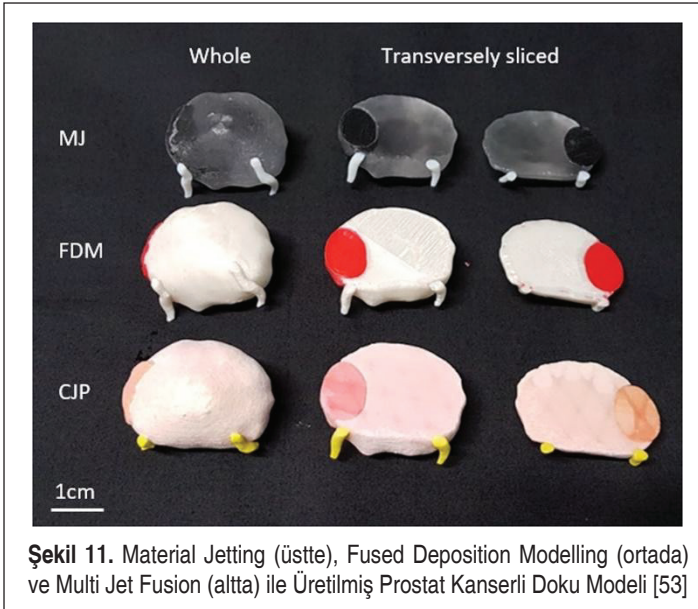


**Ergimiş Filament Üretimi (FDM) Çalışmaları:** FDM 3B yazıcılar düşük maliyetleriyle sektörde en çok kullanılan yazıcı türüdür. Bu anlamda FDM 3B yazıcılar otomotiv [52] ve medikal [53] gibi yüksek katma değerli endüstrilerden oyuncak üretimi [54] veya gündelik kişisel ürünlere [55] kadar çok geniş bir yelpazede kendine uygulama alanı bulmaktadır.

Şekil 10’da 3B FDM yazıcı ile üretilmiş bir koltuk kalıbı görülmektedir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan bu tarz ürünler için kullanılan kalıplar metal hammaddelerden geleneksel talaşlı imalat yöntemleriyle üretilmektedir. Bu kalıpların üretim süreleri ve maliyetleri oldukça yüksektir. Ancak FDM 3D yazıcılar ile bu kalıpların üretilmesi mümkündür. Her ne kadar FDM ile üretilen kalıplar henüz geleneksel yöntemler ile üretilen rakiplerine göre istenen yüzey hassasiyetini sağlayamasa da önemli bir potansiyel barındırmaktadır [52].

Medikal alanda FDM 3B yazıcılar anatomik modellerin üretimi için kullanılmaktadır. Şekil 11’de farklı FDM 3B yazıcıların yanı sıra farklı 3B yazıcı teknolojileriyle üretilmiş kanserli dokuyu göstermektedir [53]. FDM 3B yazıcılar eğitim materyali veya cerrahi operasyon öncesi planlama için kullanılacak modellerin üretimi için kullanılabilir. Şekil 11’de farklı FDM 3B yazıcıların yanı sıra farklı 3B yazıcı teknolojileriyle üretilmiş kanserli dokuyu göstermektedir [53]. FDM 3B yazıcılar eğitim materyali veya cerrahi operasyon öncesi planlama için kullanılacak modellerin üretimi için kullanılabilir.

**Malzeme Jeti (Material Jetting) (MJ) Çalışmaları:** MJ 3B yazıcıların en önemli özelliklerinden biri çok renkli üretimler yapılabilmesidir. Bu özelliği nedeniyle görsel prototiplerin üretiminde önemli bir kullanıma sahiptir. Son zamanlarda “3B Özçe-





kim” olarak adlandırılan bir kişinin veya yüzünün birebir ölçekte kopyasının üretimi bu türdeki 3B yazıcılarla yapılmaktadır.

2014 yılında, ilk defa bir devlet başkanının (Barack Obama) büstü 3B yazıcı ile üretildi [56]. Barack Obama 3B yazıcıları “Neredeyse her şeyi yapma şeklimizde devrim yaratacak potansiyeline sahip” kelimeleriyle tanımladı [57]. Bu tür çalışmalar 3B yazıcılarla ilgili yapılan çalışmaların popülerliğini arttırmakta ve toplumda daha popüler hale gelmesine yardımcı olmaktadır.

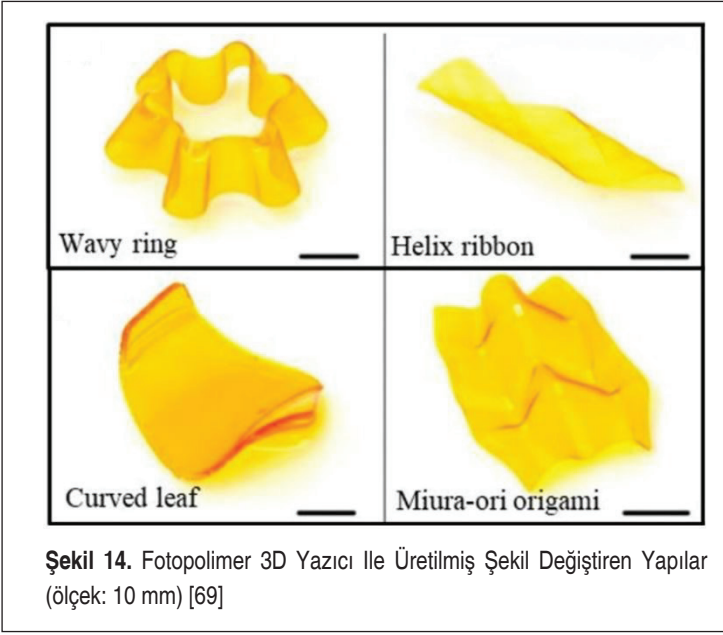
MJ 3B yazıcılar sadece insan figürleri üretmekten çok daha önemli konularda da kullanılmaktadır. Medikal alanda kullanılabilecek ekipmanlardan [58], araçlarda kullanılabilecek helisel yaylara [59] ve mikroakış cihazlarına [60] kadar geniş bir yelpazede uygulama alanı bulmaktadır.

**Toz Yatak Füzyonu (Powder Bed Fusion) (PBF) Çalışmaları:** PBF 3B yazıcılar, doğası gereği, diğer birçok yazıcı türünün aksine çok geniş yelpazede çeşitli malzemeler ile üretim yapabilir [61]. Farklı malzemelerin yanı sıra oldukça hassas toleranslarda çok küçük parçaların üretimini de yapmak mümkündür (Şekil 13a). Bu anlamda



Şekil 13. a) Alüminyum Oksit Tozuyla Üretilmiş Minyatür Bir Çark [61], b) GE firması İçin Üretilmiş Bir Uçak Yakıt Nozzle'ı [62], c) Biyomedikal Uygulamalar İçin Titanyum Alaşım Bir Kafes Yapı [63]





öngörülebilir gelecekte en yaygın 3B yazıcılardan biri olma potansiyeline sahiptir.

Dünyanın önde gelen firmalarından General Electric'in bir yan kuruluşu olan GE Aviation 30.000 adetten fazla yakıt nozzle'mı PBF 3B yazıcılar ile üretmiştir (Resim 13b). Biyomedikal alanda ise bu yazıcılarla üretilen ürünlerin sayısı hızla artmaktadır (Şekil 13c).

**Fotopolimerizasyon Çalışmaları:** Fotopolimerizasyon tekniğini kullanan 3B yazıcılar çok çeşitli alanlarda uygulamaları bulunmaktadır: akıllı kompozitler [64], yumuşak robotik [65], protezler ve ortezler [66].

Bu alanların yanında en dikkat çekici uygulamalar zamanla şekil değiştirebilen yapıların üretilmesi olarak gösterilebilir. Bu ve benzeri çalışmalar 3B yazıcı teknolojisini bir bakıma yeniden tanımlamaktadır. Yeni geliştirilmiş fotopolimerler ile üretilen yapılar 3B yazıcıda belirli bir geometri ile üretilmiş olsa da zamana bağlı olarak şekil değiştirme yeteneğine sahiptirler. Böylece 3 boyutun ötesine geçerek yeni bir tanımlamayla 4B baskı kavramı karşımıza çıkmaktadır [67]. 4D baskı, su, sıcaklık, pH, ışık vb. gibi harici bir uyarana yanıt olarak zamanla şeklini, özelliğini ve işlevselliğini değiştirebilen nesnelere üretimini ifade eder [68]. Fotopolimerizasyon tekniğini kullanan 3B yazıcılarda su ile temas ettiğinde üretildiğinden çok daha farklı şekillere girebilen yapılar üretilebilmektedir (Şekil 14). Resimde uygulaması görülen çalışmada DLP 3B yazıcılar ile kullanılacak yeni bir fotopolimer sentezlenmiştir [69]. Bu

fotopolimer ile üretilen nesnelere su ile temas ettiğinde zamanla ilk şekliinden farklı şekillere dönüşebilmektedir.

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

İnsanlık tarihinde üretim teknolojilerinde yaşanan üç devrimsel gelişme toplumu önemli ölçüde etkilemiştir. 1800’lü yıllarda makineleşmenin başlangıcıyla Endüstri 1.0, 1900’lü yıllarda elektriğin üretim araçlarında kullanımıyla Endüstri 2.0 ve 1960’lardan sonra nümerik kontrollü cihazlarla birlikte Endüstri 3.0 devrimleri yaşanmıştır. Bu gelişmelerin devrim olarak adlandırılmasının sebebi üretim kapasitemizin artmasının yanında, toplumsal ve ekonomik anlamda köklü değişimlere yol açmalarıdır. Geçmişte yaşanan bu devrimlerin nasıl geliştiği, sonrasında yaşanan etkileri incelendiğinde; günümüze ışık tutmakta aynı zamanda geleceğe dair öngörüler yapmamıza olanak vermektedir. Bu anlamda birçok araştırmacı içinde yaşadığımız bu dönemin “Endüstri 4.0” adıyla yeni bir endüstriyel devrimin başında olduğumuzu öngörmektedir [70–73]. Endüstri 4.0 devriminde en önemli teknolojilerden biri 3B yazıcılarıdır.

Bu çalışmada 3B yazıcılar ile ilgili detaylı bir değerlendirme yapılmıştır. Bütün 3B yazıcılar hammaddenin katmanlar halinde üst üste eklenmesi ile üretim yapmaktadır. Ancak bu süreçte kullandıkları teknoloji ve prensipler farklılık göstermektedir. Bu çalışmada çok sayıda farklı teknolojiye sahip yazıcılar ile ilgili temel bilgiler derlenmiştir. Her bir 3B yazıcı teknolojisi ile yapılmış olan dikkat çekici çalışmalardan örnekler sunulmuştur.

3B yazıcıların uygulamalarıyla ilgili 2015 ve 2020 yılları arasında yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde otomotiv, biyomedikal, uzay ve havacılık gibi alanların öne çıktığı görülmektedir. 3B yazıcılar ile geleneksel üretim yöntemleriyle üretilemeyecek veya üretimi daha zor olan; daha hafif, karmaşık geometri ve kişiye özgü ürünler üretilebilmektedir. Dolayısıyla bu tarz ürün ve yapıların en çok ihtiyaç duyulduğu otomotiv, biyomedikal ve havacılık gibi alanlarda 3B yazıcıların yaygın kullanılması kaçınılmazdır.

Gelecekte önemli yer tutacak olan 3B yazıcı teknolojileri başlı başına bir çalışma konusu olmanın yanı sıra farklı disiplinlerdeki araştırmacılar için önemli bir araç olacaktır. Bu anlamda farklı disiplinlerde çalışan araştırmacılar için 3B yazıcıların özelliklerinin ve temel çalışma prensiplerinin kavranması önemlidir.

#### KAYNAKÇA

1. Lasi H, Fettke P, Kemper HG, Feld T, Hoffmann M. 2014.”Industry 4.0”. Bus Inf Syst Eng 2014;6:239–42. <https://doi.org/10.1007/s12599-014-0334-4>.
2. Dilberoglu UM, Gharehpapagh B, Yaman U, Dolen M. 2017.”The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0”. Procedia Manuf 2017;11:545–54.



<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>.

3. **Hull CW, Spence ST, Albert DJ, Smalley DR, Harlow RA, Stinebaugh P, et al.** 1993. Method and Apparatus for Production of High Resolution Three-Dimensional Objects By Stereolithography, 1993.
4. **Crump SS.** 1989.Apparatus and Method for Creating Three-Dimensional Objects, 1989.
5. **Beaman JJ, Deckard CR.** 1989.SELECTIVE LASER SINTERNG WITH ASSISTED POWDER HANDLNG, 1989.
6. **Ventola CL.** 2014."Medical Applications for 3D Printing: Current and Projected Uses.". P T 2014;39:704–11.
7. **Lim CWJ, Le KQ, Lu Q, Wong CH.** 2016. An Overview of 3-D Printing in Manufacturing, Aerospace, and Automotive Industries. IEEE Potentials 2016;35:18–22. <https://doi.org/10.1109/MPOT.2016.2540098>.
8. **Joshi SC, Sheikh AA.** 2015."3D printing in aerospace and its long-term sustainability". Virtual Phys Prototyp 2015;10:175–85. <https://doi.org/10.1080/17452759.2015.1111519>.
9. **Gülcan, O, Şimşek, U, Kavas, B.** (2021). Eklemeli İmalatla Üretilen İşlevsel Olarak Derecelendirilmiş Metal Yapılar. Mühendis ve Makina, 62 (702), 1-22. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/muhendismakina/issue/60660/894585>
10. **ISO/ASTM.** 2015."ISO/ASTM 52900: Additive manufacturing - General principles - Terminology". Int Stand 2015;5:1–26.
11. **Gibson I, Rosen D, Stucker B, Khorasani M, Gibson I, Rosen D, et al.** 2021. Binder Jetting. Addit. Manuf. Technol., Springer International Publishing; , p. 237–52. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-56127-7_8).
12. **Gonzalez JA, Mireles J, Lin Y, Wicker RB.** 2016."Characterization of ceramic components fabricated using binder jetting additive manufacturing technology". Ceram Int 2016;42:10559–64. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.03.079>.
13. **Poyraz, Ö, Kuşhan, M.** 2018. Havacılık Komponentlerinin Bakım Uygulamalarında Katmanlı İmalat Teknolojilerinin Kullanımı. Mühendis ve Makina, 59 (691), 59-69. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/muhendismakina/issue/48796/620853>
14. **Bae CJ, Diggs AB, Ramachandran A.** 2018.Quantification and certification of additive manufacturing materials and processes. Addit. Manuf. Mater. Process. Quantif. Appl., Elsevier; , p. 181–213. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812155-9.00006-2>.
15. **Oh WJ, Lee WJ, Kim MS, Jeon JB, Shim DS.** 2019."Repairing additive-manufactured 316L stainless steel using direct energy deposition". Opt Laser Technol 2019;117:6–17. <https://doi.org/10.1016/j.optlastec.2019.04.012>.
16. **Atwood C, Griffith M, Harwell L, Schlienger E, Ensz M, Smugeresky J, et al.**

2018. Laser engineered net shaping (LENSTM): A tool for direct fabrication of metal parts. *Int. Congr. Appl. Lasers Electro-Optics*, vol. 1998, Laser Institute of America; , p. E1–7. <https://doi.org/10.2351/1.5059147>.
17. **Hofmeister W, Wert M, Smugeresky J, Philliber JA, Griffith M, Ensz M.** 1999. "Investigating Solidification with the Laser-Engineered Net Shaping (LENSTM) Process". *J Miner Met Mater Soc* 1999;51:1–6.
  18. **Cheng B, Price S, Lydon J, Cooper K, Chou K.** 2014. "On Process Temperature in Powder-Bed Electron Beam Additive Manufacturing: Model Development and Validation". *J Manuf Sci Eng Trans ASME* 2014;136. <https://doi.org/10.1115/1.4028484>.
  19. **Novakova-Marcincinova L, Novak-Marcincin J.** 2012. Applications of rapid prototyping fused deposition modeling materials. *23rd DAAAM Int. Symp. Intell. Manuf. Autom.* 2012, vol. 1, p. 57–60.
  20. **He Y, Wildman RD, Tuck CJ, Christie SDR, Edmondson S.** 2016. "An Investigation of the Behavior of Solvent based Polycaprolactone ink for Material Jetting". *Sci Rep* 2016;6:1–10. <https://doi.org/10.1038/srep20852>.
  21. **Kim H, Zhao Y, Zhao L.** 2016. Process-level modeling and simulation for HP's Multi Jet Fusion 3D printing technology. 2016 1st Int. Work. Cyber-Physical Prod. Syst. CPPS 2016, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; <https://doi.org/10.1109/CPPS.2016.7483916>.
  22. **Tan H.** 2016. "Three-dimensional simulation of micrometer-sized droplet impact and penetration into the powder bed". *Chem Eng Sci* 2016;153:93–107. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2016.07.015>.
  23. **Tasch D, Schagerl M, Wazel B, Wallner G.** 2019. "Impact behavior and fractography of additively manufactured polymers: Laser sintering, multijet fusion, and hot lithography". *Addit Manuf* 2019;29:100816. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100816>.
  24. **Oh Y, Bharambe V, Mummareddy B, Martin J, McKnight J, Abraham MA, et al.** 2019. "Microwave dielectric properties of zirconia fabricated using Nano-Particle Jetting™". *Addit Manuf* 2019;27:586–94. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.04.005>.
  25. **Simonelli M, Aboulkhair N, Rasa M, East M, Tuck C, Wildman R, et al.** 2019. "Towards digital metal additive manufacturing via high-temperature drop-on-demand jetting". *Addit Manuf* 2019;30:100930. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100930>.
  26. **Martin AA, Calta NP, Khairallah SA, Wang J, Depond PJ, Fong AY, et al.** 2019. "Dynamics of pore formation during laser powder bed fusion additive manufacturing". *Nat Commun* 2019;10:1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10009-2>.
  27. **Wai Ming L, Gibson I.** 2000. Colour Rapid Prototyping based on SLS process.



28. **Wang Lingling Wang Lihua Zhao Zijian Liu R-J.** 2007."Influence of process parameters on part shrinkage in SLS". *Int J Adv Manuf Technol* 2007;33:498–504. <https://doi.org/10.1007/s00170-006-0490-x>.
29. **Duda T, Raghavan LV.** 2016."3D Metal Printing Technology". *IFAC-PapersOnLine* 2016;49:103–10. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.111>.
30. **N'Dri N, Mindt H-W, Shula B, Megahed M, Peralta A, Kantzos P, et al.** 2015. DMLS Process Modelling and Validation. TMS 2015 144th Annu. Meet. Exhib., Springer International Publishing; , p. 389–96. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48127-2\\_49](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48127-2_49).
31. **Seifi M, Dahar M, Aman R, Harrysson O, Beuth J, Lewandowski JJ.** 2015."Evaluation of Orientation Dependence of Fracture Toughness and Fatigue Crack Propagation Behavior of As-Deposited ARCAM EBM Ti-6Al-4V". *JOM* 2015;67:597–607. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1298-7>.
32. **Safka J, Ackermann M, Seidl M, Vele F, Machacek J, Behalek L, et al.** 2020."Mechanical properties of two types of lattice structures fabricated with the use of hp multijet fusion technology". *MM Sci J* 2020;2020:4074–9. [https://doi.org/10.17973/MMSJ.2020\\_11\\_2020029](https://doi.org/10.17973/MMSJ.2020_11_2020029).
33. **Bagheri A, Jin J.** 2019."Photopolymerization in 3D Printing" 2019. <https://doi.org/10.1021/acsapm.8b00165>.
34. **Salonitis K.** 2014.Stereolithography. *Compr. Mater. Process.*, vol. 10, Elsevier Ltd; , p. 19–67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-096532-1.01001-3>.
35. **Kazmer D.** 2017.Three-Dimensional Printing of Plastics. *Appl. Plast. Eng. Handb. Process. Mater. Appl. Second Ed.*, Elsevier Inc.; , p. 617–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39040-8.00029-8>.
36. **Pagac M, Hajnys J, Ma Q-P, Jancar L, Jansa J, Stefek P, et al.** 2021."A Review of Vat Photopolymerization Technology: Materials, Applications, Challenges, and Future Trends of 3D Printing". *Polymers (Basel)* 2021;13:598. <https://doi.org/10.3390/polym13040598>.
37. **Mitra S, Rodríguez de Castro A, El Mansori M.** 2019."On the rapid manufacturing process of functional 3D printed sand molds". *J Manuf Process* 2019;42:202–12. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2019.04.034>.
38. **Huang S, Ye C, Zhao H, Fan Z.** 2019."Additive manufacturing of thin alumina ceramic cores using binder-jetting". *Addit Manuf* 2019;29:100802. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.100802>.
39. **Rodríguez-González P, Fernández-Abia AI, Castro-Sastre MA, Barreiro J.** 2020."Heat treatments for improved quality binder jetted molds for casting aluminum alloys". *Addit Manuf* 2020;36:101524. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101524>.
40. **Almaghariz ES, Conner BP, Lenner L, Gullapalli R, Manogharan GP, Lamonc-**

- ha B, et al.** 2016."Quantifying the role of part design complexity in using 3d sand printing for molds and cores". *Int J Met* 2016;10:240–52. <https://doi.org/10.1007/s40962-016-0027-5>.
41. **Le Néel TA, Mognol P, Hascoët JY.** 2018."A review on additive manufacturing of sand molds by binder jetting and selective laser sintering". *Rapid Prototyp J* 2018;24:1325–36. <https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2016-0161>.
  42. **Miyanaaji H, Zhang S, Lassell A, Zandinejad A, Yang L.** 2016."Process Development of Porcelain Ceramic Material with Binder Jetting Process for Dental Applications". *JOM* 2016;68:831–41. <https://doi.org/10.1007/s11837-015-1771-3>.
  43. **Mostafaei A, Stevens E, Ference J, ... DS-A,** 2018 undefined. n.d."Binder jetting of a complex-shaped metal partial denture framework". Elsevier n.d.
  44. **Pandey A, Awasthi A, Saxena KK.** 2020."Metallic implants with properties and latest production techniques: a review". *Adv Mater Process Technol* 2020;6:167–202. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2020.1731236>.
  45. **Rahman Z, Charoo NA, Kuttolamadom M, Asadi A, Khan MA.** 2019.Printing of personalized medication using binder jetting 3D printer. *Precis. Med. Investig. Pract. Provid., Elsevier;* , p. 473–81. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819178-1.00046-0>.
  46. **Ziaee M, Crane NB.** 2019."Binder jetting: A review of process, materials, and methods". *Addit Manuf* 2019;28:781–801. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.05.031>.
  47. **Saboori A, Aversa A, Marchese G, Biamino S, Lombardi M, Fino P.** 2019."Application of Directed Energy Deposition-Based Additive Manufacturing in Repair". *MdpciCom* 2019. <https://doi.org/10.3390/app9163316>.
  48. **Shah K, Pinkerton AJ, Salman A, Li L.** 2010."Effects of Melt Pool Variables and Process Parameters in Laser Direct Metal Deposition of Aerospace Alloys". *Mater Manuf Process* 2010;25:1372–80. <https://doi.org/10.1080/10426914.2010.480999>.
  49. **Bennett J, Garcia D, ... MK-J of,** 2019 undefined. n.d."Repairing automotive dies with directed energy Deposition: Industrial application and life cycle analysis". *AsmedigitalcollectionAsmeOrg* n.d.
  50. **Tepylo N, Huang X, Patnaik PC.** 2019."Laser□Based Additive Manufacturing Technologies for Aerospace Applications". *Adv Eng Mater* 2019;21:1900617. <https://doi.org/10.1002/adem.201900617>.
  51. **Pratheesh Kumar S, Elangovan S, Mohanraj R, Ramakrishna JR.** 2021."A review on properties of Inconel 625 and Inconel 718 fabricated using direct energy deposition". *Mater Today Proc* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.566>.
  52. **Romero PE, Arribas-Barrios J, Rodriguez-Alabanda O, González-Merino R, Guerrero-Vaca G.** 2021."Manufacture of polyurethane foam parts for automotive



- industry using FDM 3D printed molds". *CIRP J Manuf Sci Technol* 2021;32:396–404. <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2021.01.019>.
53. **Chen MY, Skewes J, Woodruff MA, Dasgupta P, Rukin NJ.** 2020."Multi-colour extrusion fused deposition modelling: a low-cost 3D printing method for anatomical prostate cancer models". *Sci Rep* 2020;10:1–5. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-67082-7>.
  54. **León-Cabezas MA, Martínez-García A, Varela-Gandía FJ.** 2017."Innovative functionalized monofilaments for 3D printing using fused deposition modeling for the toy industry". *Procedia Manuf* 2017;13:738–45. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.130>.
  55. **Mwema FM, Akinlabi ET, Fatoba OS.** 2019. Visual assessment of 3D printed elements: A practical quality assessment for home-made FDM products. *Mater. Today Proc.*, vol. 26, Elsevier Ltd; , p. 1520–5. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.313>.
  56. **Metallo A, Rossi V, Blundell J, Waibel G, Graham P, Fyffe G, et al.** 2015. Scanning and printing a 3D portrait of president Barack Obama. *SIGGRAPH 2015 Stud.*, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery (ACM); , p. 1–1. <https://doi.org/10.1145/2785585.2796315>.
  57. **Gross D.** 2013."Obama's speech highlights rise of 3-D printing". *CNN* 2013.
  58. **Salmi M.** 2021."Additive manufacturing processes in medical applications". *Materials (Basel)* 2021;14:1–16. <https://doi.org/10.3390/ma14010191>.
  59. **Nazir A, Ali M, Hsieh CH, Jeng JY.** 2020."Investigation of stiffness and energy absorption of variable dimension helical springs fabricated using multijet fusion technology". *Int J Adv Manuf Technol* 2020;110:2591–602. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06061-8>.
  60. **Tasoglu S, Folch A.** 2018."Editorial for the Special Issue on 3D Printed Microfluidic Devices". *Micromachines* 2018;9:609. <https://doi.org/10.3390/mi9110609>.
  61. **Gibson I, Rosen D, Stucker B, Gibson I, Rosen D, Stucker B.** 2015. Powder Bed Fusion Processes. *Addit. Manuf. Technol.*, Springer New York; , p. 107–45. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3\\_5](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3_5).
  62. **Singh R, Gupta A, Tripathi O, Srivastava S, Singh B, Awasthi A, et al.** 2019. Powder bed fusion process in additive manufacturing: An overview. *Mater. Today Proc.*, vol. 26, Elsevier Ltd; , p. 3058–70. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.635>.
  63. **Huang S, Sing SL, de Looze G, Wilson R, Yeong WY.** 2020."Laser powder bed fusion of titanium-tantalum alloys: Compositions and designs for biomedical applications". *J Mech Behav Biomed Mater* 2020;108:103775. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2020.103775>.
  64. **Asif S, Chansoria P, Shirwaiker R.** 2020."Ultrasound-assisted vat photopolymerization 3D printing of preferentially organized carbon fiber reinforced polymer



- composites". *J Manuf Process* 2020;56:1340–3. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.029>.
65. **Sachyani Keneth E, Kamyshny A, Totaro M, Beccai L, Magdassi S.** 2020."3D Printing Materials for Soft Robotics". *Adv Mater* 2020:2003387. <https://doi.org/10.1002/adma.202003387>.
  66. **Pazhamannil RV, Govindan P.** 2021."Current state and future scope of additive manufacturing technologies via vat photopolymerization". *Mater Today Proc* 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.225>.
  67. **Momeni F, M.Mehdi Hassani.N S, Liu X, Ni J.** 2017."A review of 4D printing". *Mater Des* 2017;122:42–79. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.068>.
  68. **Kuang X, Roach DJ, Wu J, Hamel CM, Ding Z, Wang T, et al.** 2019."Advances in 4D Printing: Materials and Applications". *Adv Funct Mater* 2019;29:1805290. <https://doi.org/10.1002/adfm.201805290>.
  69. **Zhao Z, Kuang X, Yuan C, Qi HJ, Fang D.** 2018."Hydrophilic/Hydrophobic Composite Shape-Shifting Structures". *ACS Appl Mater Interfaces* 2018;10:19932–9. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b02444>.
  70. **Bassi L.** 2017.Industry 4.0: Hope, hype or revolution? 2017 IEEE 3rd Int. Forum Res. Technol. Soc. Ind., IEEE; , p. 1–6. <https://doi.org/10.1109/RTSI.2017.8065927>.
  71. **Almada-Lobo F.** 2016."The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)". *J Innov Manag* 2016;3:16–21. [https://doi.org/10.24840/2183-0606\\_003.004\\_0003](https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003).
  72. **Ungureanu A.** 2019."Industry 4.0. the Role of Gig Economy in the Industrial Revolution of the 21St Century.". *USV Ann Econ Public Adm* 2019;19:77–84.
  73. **Haleem A, Javaid M.** 2019."Additive Manufacturing Applications in Industry 4.0: A Review". *J Ind Integr Manag* 2019;04:1930001. <https://doi.org/10.1142/s2424862219300011>.



# Yük Kapasitesi Şase Yapısından Bağımsız Bir Otonom Mobil Robot Tasarımı ve Dayanım Analizi

Alaattin E. Gürkal<sup>1</sup>, Alpaslan Burak İner<sup>2\*</sup>, Eylül Özer<sup>3</sup>, Ali Kibar<sup>4</sup>

## ÖZ

Bu çalışmada operatör ve sürücüye ihtiyaç duymadan otonom bir şekilde fabrika ve endüstriyel tesislerde yükün bir yerden alınarak başka bir yere taşınması işlevini gerçekleştiren Otonom Mobil Robot (OMR)'nin tasarım ve sayısal analizi yapılmıştır. OMR'lerin özellikle operatör ve sürücüye ihtiyaç duymaması gibi özellikleri onlara geniş bir kullanım alanı sağlamıştır. Bu çalışma kapsamında özgün bir OMR tasarımı gerçekleştirilmiştir. Tasarımı yapılan OMR'nin 1.000, 1.500 ve 2.000 kg yük altında meydana gelen deformasyon ve gerilme analizi yapılmıştır. Tasarım gerçekleştirilirken OMR'nin taşıyıcı şasesinde meydana gelen deformasyon ve gerilmenin yükten bağımsız olması özelliği düşünülmüştür. Elde edilen analiz sonuçları ile tasarımın bu özelliği sağladığı simülasyon yardımıyla ispatlanmıştır. Her üç yük için de analiz sonuçlarında şasenin dayanımı yaklaşık aynı çıkmıştır. Böylece, taşıyıcı şasenin boyutları ve yapısından bağımsız olan ve yalnızca taşıyıcı tekerlerin toplam kapasitesi kadar yük taşıyabilen bir OMR elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Otonom Mobil Robot (OMR), Gerilme analizi, Modelleme ve simülasyon

## Design and Strength Analysis of an Autonomous Mobile Robot Chassis Structure Independent of the Load Capacity

### ABSTRACT

In this study, the design and analysis of Autonomous Mobile Robot (AMR) is investigated. These robots perform the function of loading the cargo in factories or industrial facilities autonomously without any need for an operator and driver. These features of AMR's have provided them with a wide range of uses. An original AMR design was performed for this study. Deformation and stress analysis of AMR has been made at three loads including 1.000, 1.500, and 2.000 kg. While the design was performed, it was considered that the deformation and stress occurring in the carrier chassis of AMR were independent of the load. This feature of the design has been proven with the help of the simulation. The strength of the chassis was found to be approximately the same for all three loads in the analysis results. Therefore, AMR has been obtained that is independent of the dimensions and structure of the chassis. It can carry the total capacity of the carrier wheels.

**Keywords:** Autonomous mobile robot (AMR), Stress analysis, Modeling and simulation

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 23.03.2021

Kabul/Accepted : 29.07.2021

<sup>1</sup> Birfen Elektrik Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti., Yalova, alaattingurkal@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2857-5706

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İzmit, Kocaeli, binner@kocaeli.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-0933-654X

<sup>3</sup> Birfen Elektrik Elektronik San. ve Tic. Ltd. Şti., Yalova, eylul.ozer@birfenelektrik.com.tr  
ORCID: 0000-0002-7468-5810

<sup>4</sup> Kocaeli Üniversitesi, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kartepe, Kocaeli, alikibar@kocaeli.edu.tr  
ORCID: 0000-0002-2310-1088



## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Autonomous Mobile Robots perform the function of carrying the load in industrial facilities autonomously without the need for an operator and driver. These devices can safely carry the load on them to the desired places. AMRs have an optional operating system by integrating equipment such as sensors, cameras and field scanners with artificial intelligence. In these robots, the orientation is carried out by mapping with natural navigation for the environment. Therefore, no external investment is required for the guides such as lines, magnetic strips, or rails.

Transport types of AMRs such as tow truck, forklift, and load lifting are varied according to the sector in which they are used and the load transported. One of these transportation systems is preferred according to the work to be conducted in the factory. In order to obtain an ideal design in the preferred system, an optimum design should be made according to the desired properties and production costs. The most important parameters in the design are the weight and dimensions of the load to be transported. It is an important design control phase in order to produce and test prototype models for AMRs and to eliminate mistakes and deficiencies. However, this process is expensive and the tests must be repeated with each change on the prototype. Moreover, the prototype may need to be rebuilt with major changes. Thus, the design can be a time-consuming and costly process. The strength control of the design can be made using simulation programs quickly and practically

### Research Purpose

It has been observed that the distance between the load and the wheel is not taken into account in AMR designs in the industry and literature. In this study, we designed an AMR, which is independent of the deformation and stress occurring in the chassis. It is important that the distance between the load to be lifted and the wheels is minimal. For this purpose, it is obtained that the load acts directly on the carrier caster wheel. In this way, a unique design has been performed and the distance between the place where the load affects and the carrier wheels is minimized. Thus, the carrying capacity of the carrier wheels are emphasized rather than the structure and dimensions of the chassis for the transportation of the load.

Analysis programs provide a great convenience for the design process, cost and optimization of AMRs. In this study, the 3D design of AMR was simulated using a computer. An optimization study was carried out without the need for prototype production with this simulation analysis. For this purpose, stress and deformation analyzes were carried out on the chassis designed for 3 different loads.

### Methods and Methodology

In the present study, the designed AMR is approximately 1.500 x 750 x 350 mm in dimensions. A differential driving method is preferred in the design. In this driving method, two motor wheels, which are used as right and left, move at different speeds, and the driving direction is provided accordingly. If the speeds of the wheels have the same rate and direction, the robot is moved in a linear motion in either forward or backward direction. When the wheels have different speeds, the robot makes a right or left turn. For this purpose, a total of 6 wheels, including 2 driving wheels connected to the motor, and 4 caster wheels, were used. The diameters of the



two driving wheels used were 200 mm, and the diameters of the four caster wheels were 100 mm. It was aimed to carry a 1.000 kg load with the help of pallets on the design. The unladen weight of AMR was 296 kg. Thus, the AMR had to carry a total of 1296 kg. The weight of the chassis, which is the system that will carry the load, was 159 kg. The weight of the other parts, such as the battery, electrical elements and external plates, was 137 kg. The bolt joining method was used in the connections in the design.

### Results and Discussion

The stress and deformation analysis results are used to compare 3 different forces using the analysis results. According to these results, it is obtained to 0.0968, 0.1072, 0.1074 mm deformation under 1.000, 1.500, and 2.000 kg load, respectively. Besides, it is obtained to 19.07, 19.27, 19.82 MPa deformation under 1.000, 1.500, and 2.000 kg load, respectively.

According to the simulation results; the maximum stress and deformation in AMR's chassis affect at negligible levels by increasing the applied force. The load is enabled to act directly on the caster wheels according to this original design. In this way, the strength transmission between the load and the caster wheels is made independent of the load. Therefore, the carrying capacity of AMR is equal to the total carrying capacity of the caster wheels, regardless of the structure and size of the chassis. Designing AMR using the minimum distance between load and caster wheels gives this design unique originality.

### Conclusions

As a result of the simulations, it was seen that the effect of maximum stress and deformation in AMR, which is originally designed, is at a negligible level. This is due to the optimum selection of the load distribution and the position of the actuator in the design. Here, the specificity of the design is that the distance between the wheels and the region where the load affects the chassis is kept to a minimum. A design has been made so that the load is directly on the caster wheels. Thus, the maximum load is made independent of the structure and dimensions of the chassis and only depends on the carrying capacity of the caster wheels.



## 1. GİRİŞ

Son zamanlarda, Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 gibi kavramlar endüstriyel fabrikalarda uygulanmaya başlanmıştır. Endüstri 4.0 devrimi, yazılım ve donanımı bir araya getirirken aynı zamanda nesnelerin birbiriyle olan haberleşmesini de sağlamaktadır [1]. Endüstri 4.0 ilkelerinden türemiş olan Lojistik 4.0 kavramı, yazılım ve donanımın bir araya getirilerek lojistik süreçlerinin birbiri ile entegrasyonunu takip etmektedir. Fabrikalarda, Endüstri 4.0 ve Lojistik 4.0 dönüşümleri kapsamında üretim birimleriyle depolama birimleri arasındaki lojistik taşıma için Otomatik Yönlendirmeli Araç (OYA)'ların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Genellikle lojistik depolar, endüstriyel fabrikalar ve hastaneler gibi yerlerde kullanılan; üzerine alıp taşıma, çatallı taşıma ve çekici olmak üzere 3 temel taşıma şekli vardır [2]. OYA'lar, harici yardımcı yönlendiricilerle (işaretleyiciler, teller, renkli çizgiler vb.) birleştirilmiş olan farklı fonksiyonlara sahip sensörlerden (manyetik, kızılötesi, renkli, lazer vb.) aldıkları bilgilerle işlevlerini gerçekleştirmektedir [3]. İngilizcesi Autonomous Mobile Robot (AMR) olan Otonom Mobil Robot (OMR) ise, üretimi tamamlanmış olan ürün ve malzemelerin fabrika ortamında bir operatöre veya sürücüye ihtiyaç duymadan otonom bir şekilde taşınması amacıyla kullanılmaktadır [3].

OYA'ların yönlendirilmesi için bir yönlendirici kılavuza ihtiyaç duyulmaktadır. Fabrika ve depolarda bu kılavuzların yerlerinin değiştirilmesi zaman alıcı ve maliyetli bir iş olduğundan tercih edilmemektedir. Halbuki, OMR'ler algılayıcı, kamera ve alan tarayıcı gibi ekipmanların yapay zeka ile entegre edilmesiyle, OYA'lardan çok daha verimli ve opsiyonel bir çalışma sistemine sahiptirler [4]. Endüstriyel tip güvenlik lazer alan tarayıcı ile ortamın haritası çıkarılır [4]. Böylece haritası çıkarılan ortamda robotun gideceği konum belirlenerek hedef noktaya gitmesi sağlanır. Hedefe giderken, anlık karşılaşılan statik engellere (makine, konveyör, dağılık yük, konveyör vb.) ve dinamik engellere (insan, forklift, araç vb.) göre sensörlerden ve alan tarayıcıdan alınan bilgiler ile anlık güncellenen lokalizasyon algoritmaları kullanılmaktadır. Bu şekilde herhangi bir çizgi, manyetik bant, şerit veya ray gibi yönlendirici kılavuzlar için haricen bir yatırım gerekmemektedir. Bunlara ek olarak kolayca yönetilme, yönlendirilme ve kontrol edilebilme işlemleri gerçekleştirilebilir. OMR'ler günümüzde her türlü sanayi tesislerinde ve lojistik amaçlı birçok sektörde kullanım alanına sahiptir. Kontrol istasyonundan her bir OMR'nin konumu, anlık olarak tekerleklerden okunan enkoder bilgilerine, alan tarayıcı ve diğer sensörlerin verilerine göre hesaplanmaktadır. Buna ek olarak, akü seviyesi ve üzerinde yük olup olmadığı bilgisi kontrol edilmektedir [5]. Tek veya takım olarak birbirleriyle uyumlu çalışabilme özelliğine sahip olmalarının yanında taşıma işlemlerinde de insan kaynaklı hataların önüne kolayca geçilebilmektedir.

OMR'lerin çekici, forklift ve yük kaldırma gibi taşıma şekillerine göre tasarımları, kullanıldığı sektöre ve taşınan yüke göre farklılık göstermektedir. Fabrikada gerçek-



leştirecek olan işe göre bu taşıma sistemlerinden birisi tercih edilir. Tercih edilen sistemde ideal tasarımlara ulaşmak için üründe istenilen özelliklere ve üretim maliyetine göre optimum bir tasarım yapılmalıdır. Tasarımın gerçekleştirilmesinde en önemli parametreler taşınması hedeflenen yükün ağırlığı ve boyutlarıdır. Tasarım sürecinde üretilecek OMR'ler için prototip modeller üretilip testlerinin yapılması hata ve eksiklerin giderilmesi için önemli bir tasarım kontrol ve iyileştirme aşamadır. Fakat bu işlem hem maliyetli olmakta hem de prototip üzerinde yapılacak her bir değişiklikte testlerin tekrar edilmesi hatta büyük değişikliklerde prototipin tekrar imalatı gerekebilmektedir. Böylece tasarım süreci zaman alıcı ve maliyetli bir iş olabilmektedir. Halbuki, bilgisayar yardımıyla yapılan simülasyon programları kullanılarak gerçekleştirilen tasarımın dayanım kontrolü hızlı ve pratik bir şekilde yapılabilir. Ayrıca tasarım üzerinde yapılacak değişiklikler hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmekte ve malzeme seçimi, boyutları gibi özelliklerde optimum değerler kolaylıkla elde edilebilmektedir. OMR'lerin taşıyıcı şaselerinin tasarımında çoğunlukla sac metal, çelik profil ve sigma profil gibi yöntemler kullanılmaktadır. Özellikle sac metal tasarımlar ekonomik olması, kalıp maliyetinin olmaması, kolay şekillendirilebilmesi ve lazer ile çok hassas kesilerek sonrasında işleme ihtiyaç duymaması gibi özelliklerinden dolayı çoklukla tercih edilmektedir.

Analiz programları OMR'lerin tasarım süreci, maliyeti ve optimizasyonu için büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Hâlihazırdaki çalışmada, 3 boyutlu tasarımı yapılmış olan OMR'nin bilgisayar yardımıyla simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon çalışmasıyla, prototip üretimine gerek kalmaması veya ideal prototip üretimi aşamasının hızlandırılması için optimizasyon ve güvenlik çalışması yapılmıştır. Bu maksatla tasarlanan şasede meydana gelen gerilim ve deformasyon analizleri 3 farklı yük için gerçekleştirilmiştir. Tasarımda yükün etki ettiği bölge ile taşıyıcı teker arasındaki mesafenin minimum tutulması bu çalışmanın özgünlüğünü oluşturmaktadır. Bu şekilde tasarım taşınacak yükün büyüklüğünden bağımsız hale gelmiştir.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMALARI

OYA'lar ve OMR'ler konusunda çoğunlukla navigasyon [6] ve kinematik [7] olmak üzere; tasarım [8], analiz [9,10], kontrol sistemleri [11] gibi çalışmalar yapılmıştır. Literatürde tasarım ve analiz konusunda çok kapsamlı çalışmalar bulunmamaktadır. Ahmad ve diğ., (2014) yaptıkları analiz çalışmasında sac metal kullanarak bir OYA tasarımı yapmışlardır [12]. Tasarımlarında yükü taşıyacak şase sisteminin sac kalınlığını optimize etmek için simülasyon programından yararlanmışlardır. Bu şekilde istenilen yükü güvenli bir şekilde kaldıracak optimum sac kalınlığını tespit edilebilmiştir. Hossain ve Saha, (2018) yaptıkları tersine mühendislik çalışmasında mevcut bir OYA'nın 3D CAD modelini geliştirmek için incelemelerde bulunmuşlardır [13]. Bu mevcut OYA'nın 50 kg yük altında gerilme ve deformasyon değerlerini belirle-



mek için analiz çalışması yapmışlardır. Daha sonra kendileri OYA'nın tasarımında iyileştirmeler yaparak dayanımını arttırmışlardır. Bu şekilde istenilen yükü taşıyabilen optimum bir tasarım elde etmişlerdir. Ariyarat ve diğ., (2020) yaptıkları çalışmada OYA'da optimum tasarımın elde edilmesi için incelemelerde bulunmuşlardır [14]. Bu incelemelerde NSGA-II gibi Çok Amaçlı Genetik Algoritma (MOGA) ve Sonlu Elemanlar Yöntemini (FEM) birleştirerek, yapıyı sayısal olarak analiz etmek için geliştirmişlerdir.

Bozkurt ve diğ., (2017) yaptıkları çalışmada dizel bir forkliftin yapısal parçalarının statik analizlerini sonlu elemanlar yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir [15]. Bu çalışmada forklift tasarımının güvenilirliğini arttırmak için kritik bölgedeki gerilim dağılımlarına göre olası modifikasyonları yapmışlardır. Yapılan incelemeler sonucunda orijinal parçalar ile modifikasyonu yapılan parçaların analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Panganiban & Cheol, (2010) gerçekleştirdikleri yan taraftan yük alabilen forklift tasarımında optimizasyon işleminin öneminden bahsetmişlerdir [16]. Tasarımları yandan kaldırma özelliği dolayısıyla geleneksel ve mevcut tasarımların aksine farklı bir işleve sahiptir. Bu işlev çeşitli yük boyutlarına ve düz yataklı yük platformuna hizmet vermek için yana doğru da ayarlanabilen geri çekilebilir bir çatal içermektedir.

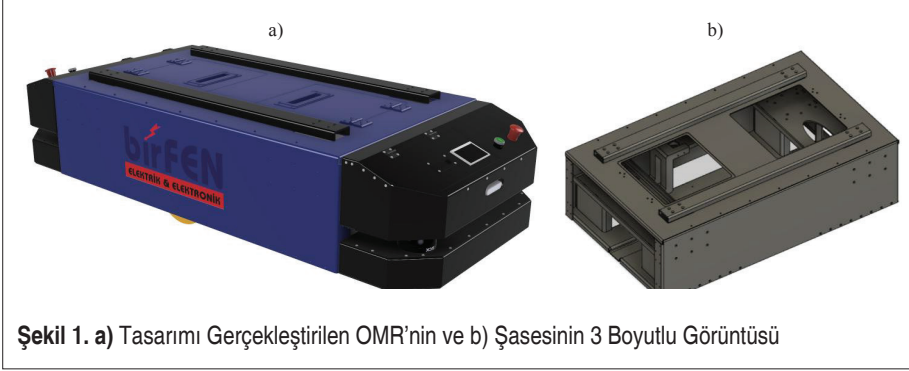
Xing ve diğ., (2018) ağır yük taşıyabilen OYA'lar için yaptıkları simülasyon çalışmasında tasarım, analiz ve optimizasyonun önemine dikkat çekmişlerdir [9]. İlk etapta bir tasarım geliştirmişler ve bu tasarımın analizi sonucunda yaptıkları iyileştirmeler ile aynı dayanıma sahip yaklaşık %34 daha hafif bir OYA tasarlamışlardır. Sonuç olarak ağır yükler için tasarladıkları OYA'nın daha kolay hareket kontrolü ve daha az maliyet için analiz programı yardımıyla hafif bir mekanik şase tasarımı elde etmişlerdir [9]. Li ve diğ., (2019) gerçekleştirdikleri analiz çalışmasında tarımsal alanlarda kullanılmak üzere bir OYA tasarımı yapmışlardır. Yaptıkları tasarımlarda altı adet farklı güçlendirme yöntemleri kullanmışlardır [8]. Bu güçlendirmelerden dayanımı en yüksek olanı simülasyon programıyla yaptıkları gerilme analizi sayesinde tespit etmişlerdir.

### 3. ARAŞTIRMA METODOLOJİSİ VE SAYISAL ANALİZ

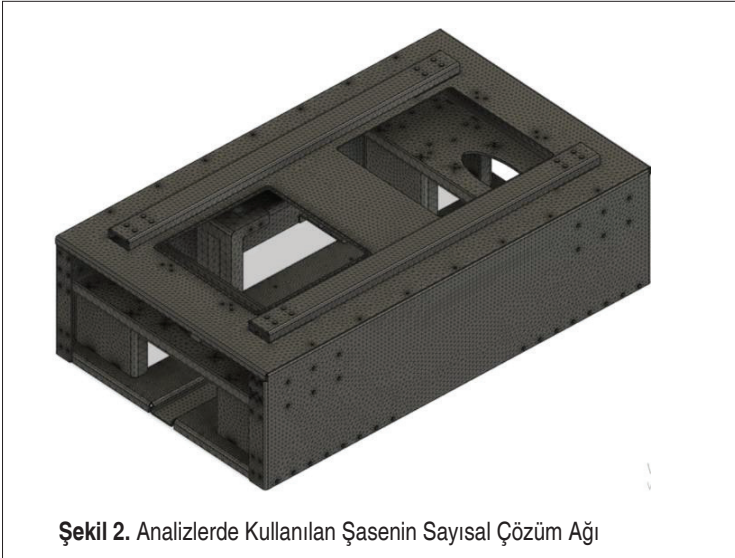
Şekil 1'de tasarımı gerçekleştirilen OMR (Şekil 1a) ve analizi yapılacak şasesi (Şekil 1b) 3 boyutlu olarak gösterilmiştir. OMR yaklaşık olarak 1.500 x 750 x 350 mm boyutlarındadır. Tasarımda diferansiyel sürüş yöntemi tercih edilmiştir. Bu sürüş yönteminde sağ ve sol olarak kullanılan iki motor tekeri farklı hızlarda hareket ederek sürüş yönlendirmesi sağlanmaktadır [17]. Her iki tekerleklerin hızları aynı büyüklükte ve hızda olduğunda robot ileri veya geri yönlü olarak doğrusal hareket gerçekleştirir. Tekerleklerin farklı hızlara sahip olması durumunda ise robot sağa veya sola doğru dönüş hareketi yapar. Bu maksatla 2 adet motora bağlı sürüş tekeri 4 adet avare tekerlek olmak üzere toplam 6 adet tekerlek kullanılmıştır. Kullanılan sürüş tekerlerinin çapı 200 mm, avare tekerlerin çapı ise 100 mm'dir. Tasarımın üstünde bulunan pa-



letler yardımı ile başlangıçta 1.000 kg ağırlığında bir yükün taşınması hedeflenmiştir. OMR'nin yüksüz ağırlığı 296 kg gelmektedir. Böylece OMR toplamda 1.296 kg ağırlığın meydana getirdiği kuvveti taşıması gerekmektedir. Şekil 1b'de gösterilen yükü taşıyacak sistem olan şasesinin ağırlığı ise 159 kg gelmektedir. Diğer kısımlar olan akü, elektrik elemanları ve şase harici yük taşımada etkili olmayan saclar gibi ekipmanların ise ağırlığı 137 kg gelmektedir. Tasarımda daha çok bağlama elemanı olarak civata/somun birleştirme yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 2'de analiz çalışmalarında kullanılan OMR şasesinin sayısal çözüm ağı gösterilmiştir. Üçgen yapılı bir çözüm ağı kullanılmıştır. Sayısal çözüm ağı yapısı yaklaşık olarak toplamda 600.000 adet hassas ve yüksek kaliteli hücreden meydana gelmektedir.





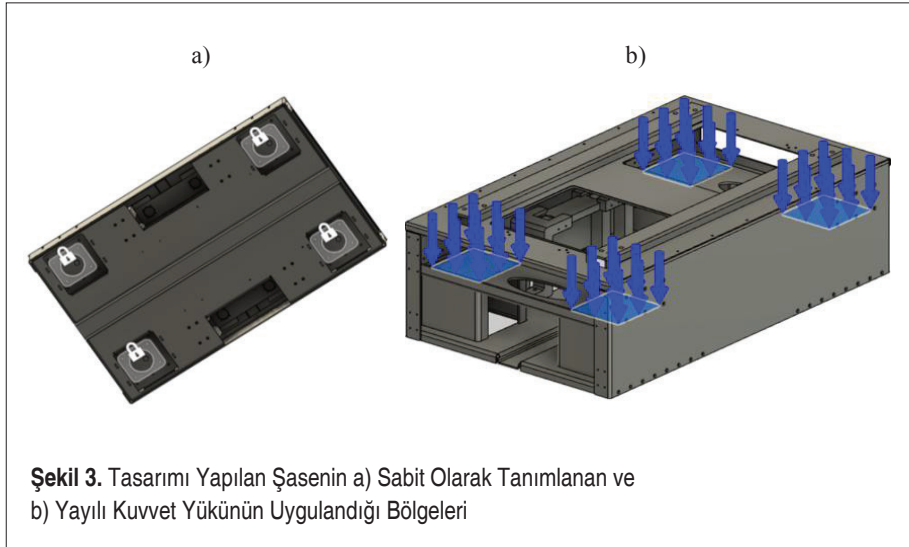


Tasarımda aktüatörler tarafından kaldırılacak olan yükün direk olarak taşıyıcı avare tekerler üzerine etki etmesi Şekil 3b’de gösterildiği gibi sağlanmıştır. Bu şekilde öz-  
gün bir tasarım gerçekleştirilerek yükün etki ettiği yer ile taşıyıcı tekerler arasındaki mesafe minimum tutulmuştur. Böylece yükün taşınması için, şasenin yapısı ve boyut-  
larından ziyade taşıyıcı tekerleklerin taşıma kapasitesi ön plana çıkmıştır.

#### 4. SINIR VE BAŞLANGIÇ ŞARTLARI

Tasarım geometrisi ve sayısal analizi bölüm başlığı altında bahsedildiği gibi OMR’nin toplam ağırlığı (296 kg) şase ağırlığının (159 kg) 1,86 katıdır. Analiz çalışmalarında sadece yükün ve ağırlığın etki ettiği şaseye gelen kuvvetlerin etkisi incelenmiştir. Hâlbuki şasenin haricinde yükü taşımada etkisi olmayan fakat OMR’nin toplam ağırlığına etki eden akü, PC, motor, motor sürücüsü, alan tarayıcı, kamera ve taşımaya etkisi olmayan saclar gibi kısımlar da bulunmaktadır. Analiz çalışmalarına OMR’nin şase haricindeki ağırlığının etkisini hesaba katabilmek için şasenin yoğunluğu 1,86 kat fazla olacak şekilde programda tanımlanmıştır. Analizlerde ayrıca -z yönünde yerçekimi tanımlanmıştır. Böylece şasenin ağırlığı yerçekiminin etkisi ile OMR’nin toplam ağırlığına eşit olmuştur.

OMR’de avare tekerlerin tabanlarının temas ettiği yerler Şekil 3a’da gösterildiği gibi sabit olarak tanımlanmıştır. Taşınacak yükün etkisinin hesaplanmasında aktüatörlerin analizi yapılmamıştır. Yalnızca taşıyıcı olan şasenin analizi gerçekleştirilmiştir. Bunun için aktüatörlerin bağlanıp temas ettiği yüzeylere Şekil 3b’de gösterildiği gibi kuvvet uygulanmıştır. Bunun için her birinin alanı 27,2 cm<sup>2</sup> olan 4 bölgeye 1.000/4=250 kg (2452,5 N) yayılı kuvvet yükü tanımlanmıştır.

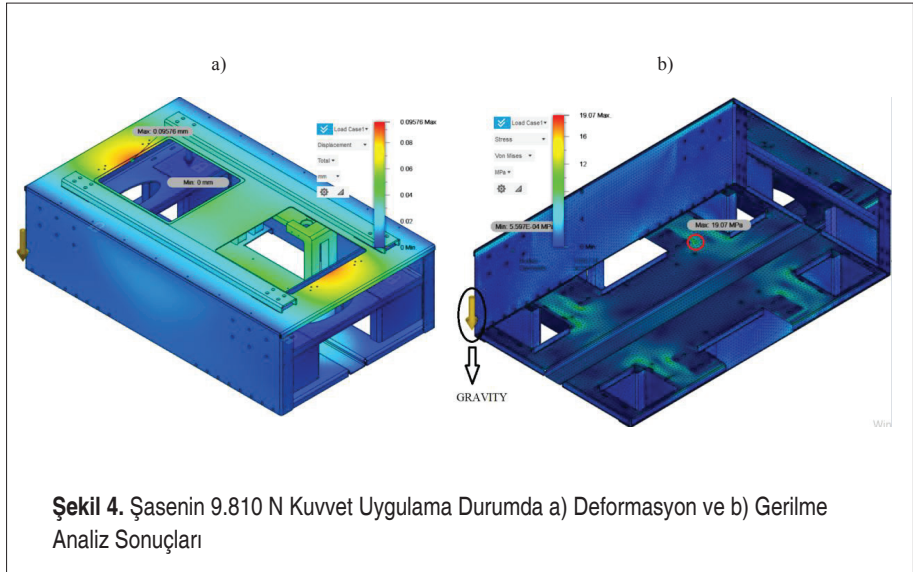






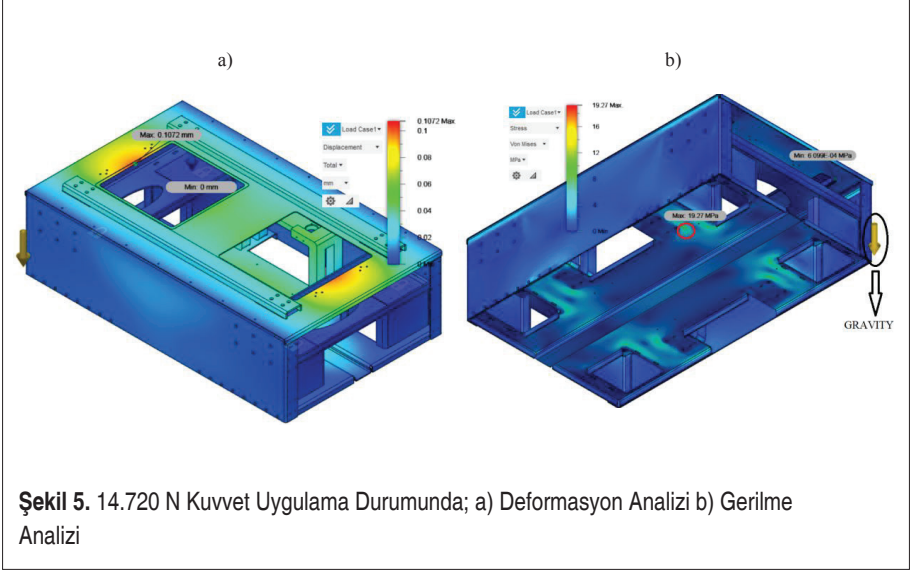
## 5. BULGULAR VE TARTIŞMA

OMR'nin 9.810 N (1.000 kg) kuvvet altında şekil değiştirmesi Şekil 4a'da gösterilmiştir. Bu sonuca göre uygulanan kuvvet altında maksimum 0,0968 mm deformasyona uğrayan bölge kırmızı renk ile belirtilmiştir. Maksimum deformasyon şasesinin üst bağlantı sacının kapak takılan bölgelerinde olmaktadır. Şekil 4b'de ise 9.810 N kuvvet altında oluşan maksimum gerilmeyi ve bu gerilmenin etki ettiği bölge gösterilmiştir. Bu maksimum gerilme bölgeleri avare tekerlerin bağlantı bloklarının alt şaseye monte edildiği yerlerinde olmaktadır. Maksimum gerilme 19,07 MPa ve kullanılan malzemenin akma dayanımı 207 MPa olduğundan yaklaşık 10 kat emniyetli bir tasarım olmaktadır.

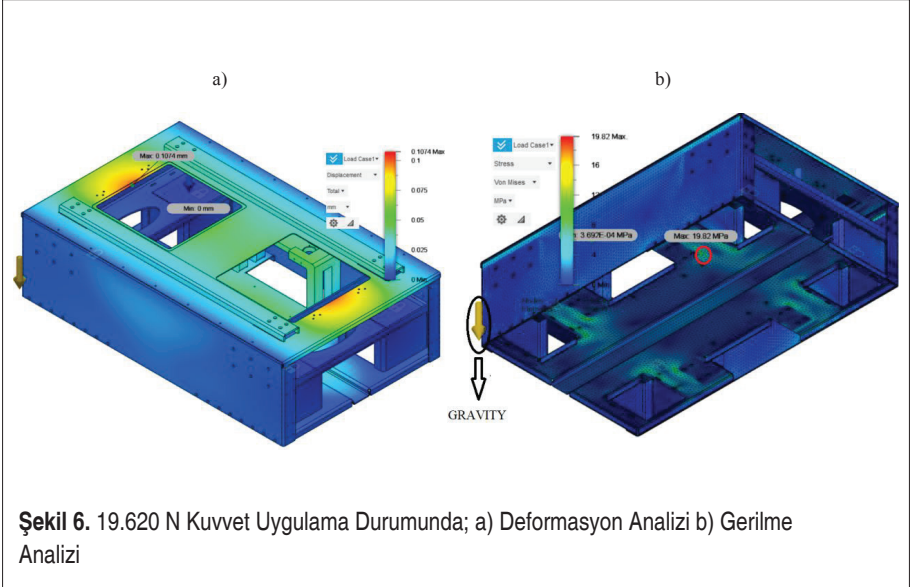


Şekil 5a'da 14.720 N (1.500 kg) kuvvet altında şekil değiştirmesi gösterilmiştir. Bu sonuca göre uygulanan kuvvet altında maksimum 0,1072 mm deformasyona uğrayan bölge kırmızı renk ile belirtilmiştir. Şekil 5b'de ise 14.720 N kuvvet altında oluşan maksimum gerilmeyi ve bu gerilmenin nerede olduğunu göstermektedir. Maksimum gerilme 19,27 MPa ve kullanılan malzemenin akma dayanımı 207 MPa olduğundan yine bu kuvvet altında da şasesinin dayanımı yaklaşık 10 kat emniyetli olduğu görülmüştür. Böylece deformasyon ve gerilmenin hem büyüklükleri hem de etki ettiği yerler yaklaşık olarak 9.810 N kuvvetin etki ettiği sonuçlar ile aynı olmaktadır.

Şekil 6a'da 19.620 N (2.000 kg) kuvvet altında şekil değiştirmesi gösterilmiştir. Bu sonuca göre uygulanan kuvvet altında maksimum 0,1074 mm deformasyona uğrayan bölge kırmızı renk ile belirtilmiştir. Şekil 6b'de ise 19.620 N kuvvet altında oluşan



maksimum gerilmeyi ve bu gerilmenin nerede olduğunu göstermektedir. Maksimum gerilme 19,82 MPa ve kullanılan malzemenin akma dayanımı 207 MPa olduğundan yine yaklaşık 10 kat emniyetlidir. Simülasyonu yapılan en büyük kuvvet olan 19.620 N kuvvette de deformasyon ve gerilmenin hem büyüklükleri hem de etki ettiği yerler yine yaklaşık aynı olmaktadır.





Elde edilen sonuçlara göre; uygulanan kuvvet değerinin arttırılmasıyla, OMR'nin yük taşımada etkili olan şasesinde oluşan maksimum gerilme ve deformasyon ihmal edilebilecek seviyede değişim göstermiştir. Bu çalışmadaki özgün tasarımda aktüatörler tarafından kaldırılacak yükün doğrudan taşıyıcı avare tekerlerin üzerine etki etmesi sağlanmıştır. Bu şekilde yükün etki ettiği yer ile avare teker arasında meydana gelecek olan gerilme yükten bağımsız hale getirilmiştir. Böylece avare tekerin taşıma kapasitesi hangi büyüklükte seçilirse seçilsin, OMR'nin taşıma kapasitesi, şasenin yapısı ve boyutundan bağımsız olarak avare tekerlerin toplam taşıma kapasitesi değerinde olmaktadır. Taşınacak yük ilk etapta şaseye etki ettirilip daha sonra şase üzerinden taşıyıcı tekerlere iletilmesi durumunda ise; Ahmad ve diğ. [12] ve Kaloutsakis ve diğ. [18] çalışmasında olduğu gibi taşınacak yükün kapasitesi şasenin boyutu ve tasarımından etkilenmektedir. Hâlihazırdaki özgün tasarım ile uygulanan yük ve taşıyıcı olarak kullanılan avare tekerler arasındaki mesafenin minimum tutulması bu tasarıma literatürde bulunmayan bir özgünlük kazandırmıştır.

## 6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, tasarımı gerçekleştirilen OMR için 1.000, 1.500, 2.000 kg olmak üzere 3 farklı kuvvet uygulanarak analiz çalışması yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları kullanılarak, 3 farklı kuvvet için gerilme ve deformasyon analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan analizler sonucunda özgün tasarımı gerçekleştirilen OMR'de maksimum gerilme ve deformasyon etkisinin ihmal edilebilecek kadar düşük bir seviyede olduğu görülmüştür. Bu durum tasarım planlamasında, yük dağılımının ve avare tekerleklerin pozisyonlanmasının doğru yapılması sayesinde gerçekleşmiştir. Bu çalışma için gerçekleştirilen tasarımda, aktüatörler tarafından kaldırılan yük direk taşıyıcı tekerlerin üzerine gelecek şekilde bir tasarım yapılmıştır. Böylece tasarımın kaldırabileceği maksimum yük, şasenin yapısı ve boyutlarından bağımsız hale getirilerek yalnızca avare tekerlerin taşıma kapasitesine bağlı olması sağlanmıştır. Buradaki tasarımı özgün kılan durum, yükün etki ettiği bölge ile yükün tekerlekler üzerinden yere iletileceği kısımlar arasındaki mesafenin minimum tutulmasıdır.

Bu çalışmada, benzer tasarımları gerçekleştirecek tasarım mühendisleri için OMR tasarımında çok kritik bir konu olan taşınacak yükün etki ettiği bölge ile taşıyıcı tekerlerin şaseye bağlandığı bölge arasındaki mesafenin minimum tutulmasının önemi için bir farkındalık oluşturması hedeflenmiştir.

## KAYNAKÇA

1. **Bakan, İ., Şekkeli, Z. H.** 2018. "Endüstri 4.0 In Etkisiyle Lojistik 4.0," J. Life Econ., 5(2), pp. 17–36.
2. **Şenaras, A. E., Şenaras, O. M.** 2020. "Otomatik Yönlendirmeli Araç ( AGV ) Rotalama



İçin En Yakın Yaklaşım Yöntemi,” 3, pp. 737–748.

3. **Wu, X., Lou, P., Cai, Q., Zhou, C., Shen, K., Jin, C.** 2012. “Design and Transport System for Automated Guided Vehicle,” Proc. 2012 UKACC Int. Conf. Control. Control 2012, (September), pp. 765–770.
4. **Gonzalez, A. G. C., Alves, M. V. S., Viana, G. S., Carvalho, L. K., Basilio, J. C.** 2018. “Supervisory Control-Based Navigation Architecture: A New Framework for Autonomous Robots in Industry 4.0 Environments,” IEEE Trans. Ind. Informatics, 14(4), pp. 1732–1743.
5. **Shneier, M., Bostelman, R.** 2015. “Literature Review of Mobile Robots for Manufacturing Literature Review of Mobile Robots for Manufacturing,” Natl. Inst. Stand. Technol. US Dep. Commer., p. 21.
6. **Andersson, D., Ansson, E. M.** 2012. “Landfill Monitoring Positioning and Docking of Programs an AGV in a with the Aid of Geoelectrical - Imaging Techniques Clinical Environment And.”
7. **Keighobadi, J., Fazeli, K. A., Shahidi, M. S.** 2013. “Self-Constructing Neural Network Modeling and Control of an AGV,” Positioning, 04(02), pp. 160–168.
8. **Li, X. Y., Chiu, Y. J., Mu, H.** 2019. “Design and Analysis of Greenhouse Automated Guided Vehicle,” Adv. Intell. Syst. Comput., 891(600), pp. 256–263.
9. **Xing, W., Jingyang, W., Peng, J., Hua, C., Chao, S., Peihuang, L.** 2018. “Genetic Algorithm-Based Structure Optimization and Load-Carrying Analysis for the Body Frame of Heavy-Duty AGVs,” Int. J. Robot. Eng., 3(2).
10. **Zheng, S. W., Chiu, Y. J., Chen, X. D.** 2019. “Design and Analysis of Solar Balance Cars,” Advances in Intelligent Systems and Computing.
11. **Chen, R., Hao, F., Fei, Z.** 2019. “Design of Magnetic Navigation Automatic Guided Vehicle System,” J. Phys. Conf. Ser., 1311(1).
12. **Ahmad, S., Yeong, C. F., Su, E. L. M., Tang, S. H.** 2014. “Improvement of Automated Guided Vehicle Design Using Finite Element Analysis,” Appl. Mech. Mater., 607(July), pp. 317–320.
13. **Hossain, S., Saha, J.** 2018. “A Case Study on The Automated Guided Vehicle System Through Reverse Engineering,” Int. J. Comput. Sci. Eng., 6(7), pp. 77–87.
14. **Ariyarat, A., Katasila, P., Srinaem, T., Sukkhanthong, W.** 2020. “The Multi-Objective Design Optimization of Automated Guided Vehicles Car Structure Using Genetic Algorithms,” Proc. 2020 IEEE 11th Int. Conf. Mech. Intell. Manuf. Technol. ICMIMT 2020, pp. 103–107.



15. **Bozkurt, Ö. Y., Dai, I. C., Özbek, Ö.** 2017. “The Finite Element Analysis and Geometry Improvements of Some Structural Parts of a Diesel Forklift Truck,” *Period. Eng. Nat. Sci.*, 5(2), pp. 202–209.
16. **Panganiban, H., and Cheol, S. C.** 2010. “Analysis of New Concept Design of a Side-Loading Forklift Trailer,” pp. 825–826.
17. **Wang, T., Dong, R., Zhang, R., Qin, D.** 2020. “Research on Stability Design of Differential Drive Fork-Type AGV Based on PID Control,” *Electron.*
18. **Kaloutsakis, G., Tsourveloudis, N., Spanoudakis, P.** 2003. “Design and Development of an Automated Guided Vehicle,” *Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Technol.*, 2, pp. 990–993.

# TİG Kaynağı ile Gerçekleştirilen Sert Dolgu Sırasında Oluşan Artık Gerilme ve Deformasyonların Modellenmesi

Atilla Savaş

## ÖZ

Sert dolgu prosesi her türlü çelikte aşınma direncini arttırmak için kullanılan bir yöntemdir. Kaynak yöntemiyle yapılan sert dolgu prosesinde plakalarda deformasyon ve artık gerilmelerin oluştuğu bilinmektedir. Bunların en aza indirilmesi için çeşitli kaynak paternleri (kaynak dikişleri) sayısal bir çalışmayla incelenmiştir. Kaynak yöntemi olarak TİG kaynağı seçilmiştir. Sert dolgu kaynak dikişleri seyrek olarak plakaların üzerine uygulanmıştır. Seyrek kaynak dikişleri ile paternlerdeki deformasyon ve artık gerime eğilimleri hesaplanabilmektedir. Sayısal model ANSYS sonlu eleman yazılımı kullanılarak oluşturulmuş ve deneysel sonuçlarla doğrulanmıştır. Kaynak prosesinin ısı girdisi hesabı çift elipsoid hareketli ısı kaynağı yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Dikdörtgen plakalarda enine kaynak dikişlerinin daha küçük deformasyon ve artık gerilmelere neden olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sert dolgu, TİG kaynağı, Sayısal modelleme

## Modeling of Residual Stresses and Deformations During Hardfacing by Gtaw

### ABSTRACT

Hardfacing process is a method used to increase the wear resistance for all kinds of steel. It is known that deformation and residual stress occur in the plates during the hardfacing process made by welding method. In order to minimize these, various welding patterns (welding seams) have been analyzed with a numerical study. TIG welding was chosen as the welding method. Hardfacing weld seams were sparsely applied on the plates. Deformation and residual stress tendencies in patterns can be calculated with sparse weld seams. The numerical model was created using ANSYS finite element software and validated with experimental results. The heat input of the welding process was calculated by using the double ellipsoid moving heat source method. It has been determined that transverse weld seams in rectangular plates cause smaller deformations and residual stresses.

**Keywords:** Hardfacing, TIG welding, Numerical modeling

Geliş/Received : 15.05.2021  
Kabul/Accepted : 29.07.2021

\* Piri Reis Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, İstanbul, asavas@pirireis.edu.tr  
ORCID: 0000-0001-6900-3259



## EXTENDED ABSTRACT

The hard facing process is utilized for improving the wear resistance of all kinds of steel. Via hard facing the hardness of the surface can easily be improved. It is not essential to cover all of the surfaces of a plate to increase wear resistance. Some parts of the surface may be chosen and hard-faced. In this case, the important thing is to prevent two metal surfaces not to rub each other on the uncovered parts. The most common application of hardfacing is performed by various types of fusion welding processes. In the literature, one can find examples of hardfacing by Gas Tungsten Arc Welding (GTAW), Submerged Arc Welding (SAW), Shielded Metal Arc Welding (SMAW), and Gas Metal Arc Welding (GMAW). In this work, the GTAW process was investigated. While the surface of the plates is hard-faced in order to gain wear resistance, the deformations and the residual stresses should not restrain the plate from service. Compressive residual stresses may be appreciated because crack propagation is suppressed under this condition.

Different welding patterns were designed and modeled to investigate their influence on deformations and residual stresses. Previous studies in the literature show that the researchers were interested in pre-heating and post-weld heat treatment in order to reduce deformations and residual stresses. Researchers were also interested in the metallurgical part of the process. Different metal powders including boron, chromium, niobium, cobalt were investigated in the related studies and their effect on the surface hardness was analyzed by various researchers. In this present work, the welding patterns i.e. longitudinal and transverse welding seams were analyzed and their effects on the distortions and stresses were investigated. These seams were performed as either only longitudinal and transverse or both of them. Three different patterns were included in the present work: MOD 1 includes only longitudinal welding seam, MOD 2 has only transverse seam and finally, MOD 3 includes both longitudinal and transverse welding seams. The welding speed was chosen as a moderate one (6 mm/s), for all of the patterns the process ends at the 30th second. This ensures that the heat input for all of the patterns is equal.

The numerical modeling was performed by Finite Element Code ANSYS. The transient structural module was used and two different APDL code snippets were utilized to code the thermo-physical and thermo-mechanical properties of plain carbon steel and the double-ellipsoidal moving heat source. The convective and radiative heat transfer parameters were also given by these code snippets. The mentioned APDL codes were given in the Appendices. Mesh independence was provided by utilizing the cell dimensions used in the previous studies, 1 mm cube element gives the optimum solution. This selection provides sufficient details in stresses and deformation and minimum solution time.

Under the same welding conditions and the same welding heat input, the transverse welding seam caused the minimum highest temperature in the plate (MOD 2). The maximum highest temperature was obtained in the plate where the longitudinal and transverse welding seams both (MOD 3) were performed. The minimum deformation was obtained in the plate which was welded transversely (MOD 2). Both on the transverse path (Path 1, "İz 1", look at Figure 3 (Şekil 3)) and the longitudinal (Path 2, "İz 2", look at Figure 3 (Şekil 3)) which are drawn on the surface of the plate, the maximum residual stress was obtained for the longitudinal welding seam (MOD 1). On the other hand, the transverse welding seam (MOD 2) caused the minimum residual stress.

It has been observed that the highest temperature in the hard facing process is realized in MOD 3, which includes both longitudinal and transverse weld seams. The lowest temperature was seen in MOD 2. MOD 2 includes only transverse weld seams. The lowest deformation was observed in MOD 2. There is convex bending in MOD 1 and MOD 3, and concave bending in MOD 2. It is considered that the convexity in MOD 1 and MOD 3 originates from longitudinal weld seams. The highest residual stress in the transverse path in the rectangular plate is the longitudinal stress in MOD 1, the smallest stress is the longitudinal stress in MOD 2; The transverse stresses are listed as MOD 3, MOD 1, and MOD 2 from large to small. The stresses are listed similarly to the transverse path, except for small regions at the beginning and end of the longitudinal path in the rectangular plate.

The most important finding of this study is that on the rectangular plates transverse hardfacing patterns should be chosen to minimize the distortions and residual stresses. Further studies should include other welding patterns and their effects on deformations and stresses.



## 1. GİRİŞ

Sert dolgu kaplaması malzemelerin özellikle de çeliklerin aşınma direncini geliştirmek ve sertliklerini arttırmak için kullanılagelmiş bir yöntemdir. TİG kaynağı, tozaltı kaynağı, MAG kaynağı sert dolgu yapmak için en çok kullanılan yöntemlerdir. Bu prosesin daha iyi anlaşılabilmesi için çeşitli deneysel ve numerik çalışmalar literatürde bulunmaktadır. Goldak ve arkadaşları daha önceden kaynak prosesindeki ısı girdisini dairesel olarak hesaplayan yöntemlerden farklı olarak çift elipsoid hareketli ısı kaynağı modelini geliştirmiştir. Bu sayede hem ince hem de kalın plakalardaki ısı girdisini doğru şekilde hesaplamıştır [1]. Pandey ve arkadaşları tozaltı kaynağı yönteminde kaynaklı plakanın çarpılma miktarını kontrol etmek için yöntem geliştirmiştir [2]. Zargar ve arkadaşları tozaltı kaynağı ile birleştirilen “T” kaynağındaki kalıcı deformasyonları sayısal ve deneysel yöntemlerle incelemiştir. Kaynak sırasının önemli bir parametre olduğunu tespit etmiştir. İrizalp ve arkadaşları bir takım çeliği üzerine sert dolguyu TİG kaynağı ile uygulayarak kaplamanın sertliği geliştirerek aşınmaya karşı direnci sağladığını tespit etmiştir [3].

Çelik ve arkadaşları TİG kaynağı ile paslanmaz çelik malzemelerin sert dolgusunu incelemiştir. Değişik metal tozlarının kaplama sertliğine etkisini ortaya koymuştur [4]. Kaptanoğlu ve Eroğlu adi karbonlu çelik malzemeye tozaltı kaynağı ile sert dolgu uygulamıştır. Ferronyobiyum ve ferbor tozlarının hangi oranlarda en yüksek aşınma direncini sağladığını tespit etmiştir [5]. Moselli ve arkadaşları adi karbonlu çelik plakaların TİG kaynağıyla stellite 6 alaşımıyla kaplanmasını ve bunun sonucunda aşınmaya karşı direnç kazanılmasını incelemiştir. Yüksek malzeme yığıma oranı, yüksek kaynak ilerleme hızı ve düşük kaynak akımı ile en iyi sonucu elde etmiştir [6]. Pradeep ve arkadaşları malzemelerin aşınma direncini geliştirmek için kullanılan sert dolgu prosesini inceleyen bir derleme makalesi hazırlamıştır. Sert dolgu prosesinin herhangi bir çelik malzeme üzerinde uygulanabilir olduğu ve değişik alaşım malzemelerinin sertlik , aşınma direnci ve çatlama direnci gibi özellikleri geliştirebildiği sonucuna varmıştır [7]. Kaptanoğlu ve arkadaşları tozaltı kaynağıyla yapılan sert dolgu prosesinin optimum parametrelerini tahmin etmek için yöntem geliştirmiştir [8]. Çelik malzeme üzerinde demir ve kobalt bazlı kaplama malzemeleri kullanılarak yapılan sert dolgu prosesi Zhao ve arkadaşları tarafından incelenmiştir [9].

Wu ve arkadaşları adi karbonlu çelik malzeme üzerine Stellite dolgu kaplama prosesinin simülasyonunu yapmıştır. Ön tavlamanın artık gerilmeleri azaltılabileceğini tespit etmiştir [10]. Orta ve yüksek karbonlu çelikleri sert dolgu ile kaplanması prosesinin simülasyonu Yang ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [11].

Lazic ve arkadaşları değişik kalınlıklardaki çelik plakalarda uygulanan sert dolgu prosesinin deformasyon ve artık gerilmeye etkinin deneysel olarak incelemiştir [12]. Lazic ve arkadaşları sert dolgu prosesinde çelik plakalar üzerindeki artık gerilmelerin temperleme yöntemiyle azaltılabileceğini deneysel olarak tespit etmişlerdir [13].





Savaş'ın yaptığı çalışmada sert dolgu yapılan çelik plakalarda boyuna kaynak dikişlerinin deformasyona ve gerilmelere etkisi incelenmiştir [14].

Mevcut çalışmada düşük karbonlu çelik plakaların aşınma direncini geliştirmek için yapılan sert dolgu prosesinin modellemesi yapılmıştır. Modelleme yapılırken TIG kaynağından kaynaklanan ısı girdisi esas alınmış, dolgu malzemesi ve onun metalürjik etkisi hesaba katılmamıştır. Yukarıdaki makalelerde de bahsedildiği gibi kaynak sırası ve kaynak paterni deformasyonlar ve artık gerilmeler için önemli parametrelerdendir. Bu nedenle üzerinde çalışılan plakada değişik yönlerdeki kaynak dikişleri incelenmiş ve en düşük gerilme ve deformasyonu sağlayan kaynak paterni tespit edilmeye çalışılmıştır.

## 2. YÖNTEM

### 2.1 Kaynak Simülasyonu

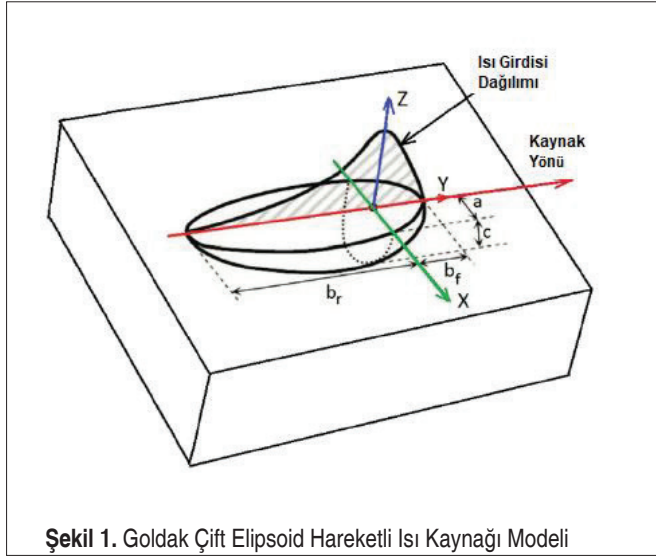
Kaynak simülasyonunun termal kısmı iletim, konveksiyon ve radyasyonu içerir. Modelin yapısal kısmı elastik, plastik ve termal gerinimi hesaba katar. St37'nin sıcaklığa bağlı termo-fiziksel özellikleri, yani iletim katsayısı, özgül ısı ve yoğunluk Chen ve arkadaşlarının çalışmasından alınmıştır [15]. St37'nin sıcaklığa bağlı termo-mekanik özellikleri, yani elastisite modülü, Poisson oranı ve ısıl genleşme katsayısı da aynı referanstan alınmıştır (Tablo 1). Hareketli ısı kaynağı modeli, çift elipsoid bir ısı kaynağı olarak seçilmiştir. Bu model için parametreler, Chen ve arkadaşlarının çalışmasından alınmış ve Tablo 2'de verilmiştir [15]. Hareketli ısı kaynağı modeli Şekil 1'de görülmektedir [16]. Sayısal çalışmada termal kısım ve yapısal kısım karşılıklı olarak

**Tablo 1.** St37'nin Termofiziksel ve Termomekanik Özellikleri

Sıcaklık (°C)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Isıl Kapasite (J/kg/°C)	Isıl İletkenlik (W/m/°C)	Young Modülü (10 <sup>9</sup> Pa)	Poisson Oranı	Isıl genleşme Katsayısı. (10 <sup>-7</sup> /°C)
0	7900	444	45.9	205	0.33	120
100	7880	472	44.8	202.5	0.34	122
200	7830	503	43.4	200	0.35	124
300	7790	537	41.4	187.5	0.36	126
400	7750	579	38.9	175	0.37	128
600	7660	692	33.6	148	0.39	132
800	7560	837	28.7	100	0.41	136
1200	7370	860	28.6	17.5	0.45	144
1300	7320	863	29.5	15	0.46	146
1500	7320	-	-	10	0.48	150

**Tablo 2.** Kaynak Simülasyonu İçin Goldak Parametreleri

a (x yönündeki parametre)	5 mm
$b_f$ (y yönündeki parametre, ön)	5 mm
$b_r$ (y yönündeki parametre, arka)	15 mm
c (z yönündeki parametre)	5 mm
$f_f$ (ön parça)	0.5
$f_r$ (arka parça)	1.5
Kaynak hızı	8.33 mm/s
Kaynak voltajı, U	27 V
Kaynak akımı, I	125 A
Kaynak verimliliği, $\eta$	0.9
Isı girdisi, $Q = \eta IU$	3037.5 W



birleştirilmiştir, yani sıcaklık gradyanı, gerinimlerin oluşmasına neden olur ve diğer yandan ergime bölgesinde ve Isı Tesiri Altındaki Bölge'de (ITAB) meydana gelen deformasyon sıcaklık değişikliklerine neden olur.

## 2.2 Sayısal Model

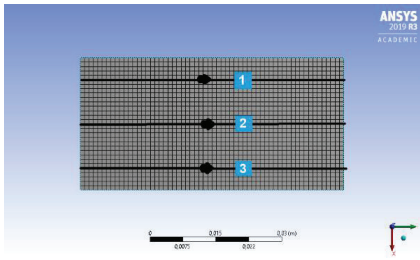
Sert dolgu paternleri Şekil 2a, 2b ve 2c'de gösterilmektedir. Şekil 2a'daki MOD 1 paterninde boyuna kaynak dikişi kullanılmıştır. Şekil 2b'deki MOD 2 paterninde ise sadece enine kaynak dikişi kullanılmıştır. Son patern MOD 3 şekil 2c'de verilmiştir



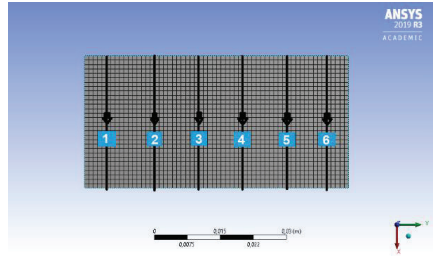
ve hem enine hem de boyuna kaynak dikişleri içermektedir. Toplam kaynak dikişi uzunluğu ısı girdisinin eşit olması maksadıyla 180 mm'de sabit tutulmuştur. Sabit mesnetler Şekil 2d'de gösterilmektedir. Deformasyonları ve artık gerilmeleri azaltmak için birkaç yöntem kullanılabilir. Kullanılan kaynak koşulları 27 V, 125 A ve 8,33 mm / s'dir. Şekil 2a, 2b ve 2c'de, ANSYS FEM modeli için oluşturulan ağ da görülebilir. Artık gerilmelerin çizgisel olarak verildiği iki İz kullanılmıştır. Bu İz'ler Şekil 3'te gösterilmektedir. Modelin en önemli kısmı hareketli ısı kaynağı tarafından sağlanan ısı girdisidir. İki parçalı Goldak çift elipsoid hareketli ısı kaynağı modeli aşağıdaki denklemlerde verilmiştir [1]:

$$q_f(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}(f_f Q)}{ab_f c \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2} - \frac{3y^2}{b_f^2} - \frac{3z^2}{c^2}\right) \quad (1)$$

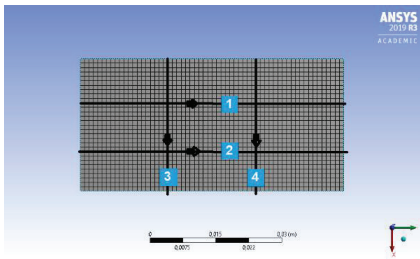
$$q_r(x, y, z) = \frac{6\sqrt{3}(f_r Q)}{ab_r c \pi \sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{3x^2}{a^2} - \frac{3y^2}{b_r^2} - \frac{3z^2}{c^2}\right) \quad (2)$$



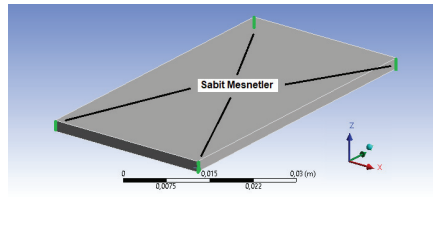
Şekil 2a



Şekil 2b



Şekil 2c



Şekil 2d

**Şekil 2 a.** MOD 1 Sadece Boyuna Kaynak Dikişi Modeli, b. MOD 2 Sadece Enine Kaynak Dikişi Modeli, c. MOD 3 Hem Enine Hem de Boyuna Kaynak Dikişi Modeli, d. Plakadaki sabit Mesnetler

Burada  $q_f$  ısı kaynağının ön kısmı ve  $q_r$  arka kısmıdır. Konvektif ısı transferi ve radyasyon emisyonu katsayısı sırasıyla şu şekilde kullanılmıştır:  $10 \text{ W/m}^2/\text{K}$ ,  $0.8$ . Ortam sıcaklığının  $20^\circ \text{ C}$  olduğu varsayılmıştır. Plakaların dış köşeleri ANSYS’te sabit mesnet olarak seçilmiştir (Bakınız Şekil 2d). ANSYS “transient structural” modülü kullanılmış ve APDL (Ansys Parametric Design Language) kodu kullanılarak termal analiz yapılmıştır. Sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri de APDL kodu olarak verilmiştir (APDL kodları EK’lerde listelenmiştir). Eleman tipi SOLID 226’dır ve elemanlar geometrik olarak altı yüzlüdür.  $2 \text{ mm}$  kalınlığındaki plakalar hücre boyutları  $1 \times 1 \times 1 \text{ mm}^3$ ’dür. Büyük deformasyonlar hesaba katılmıştır.

Termal ve mekanik kısım için geçerli denklemler aşağıda verilmiştir:

Üç boyutlu doğrusal olmayan ısı transfer denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t}(x, y, z, t) = -\nabla \cdot (-k \nabla T) + Q(x, y, z, t) \quad (3)$$

Burada  $\rho$  yoğunluğu temsil eder ve birimi  $\text{kg} / \text{m}^3$ ’tür,  $C$  ısı kapasitesidir ve birimi  $\text{W} / \text{m}^3 / \text{C}$ ’dir.  $\nabla$ , uzamsal gradyan operatörüdür.  $k$ , termal iletkenlik katsayısıdır ve  $\text{W} / \text{m} / \text{C}$  birimine sahiptir.  $x, y, z$  kartezyen koordinat eksenleridir ve  $t$  zamandır.  $Q$ , ısı girdisi anlamına gelir ve Watt birimine sahiptir.

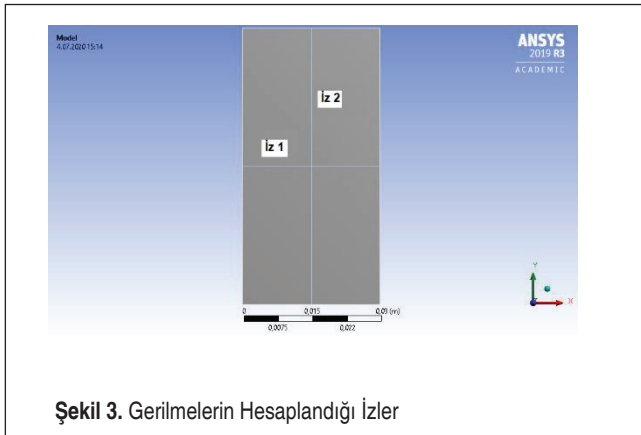
Plastik deformasyon aşağıdaki Von Mises kriteriyle ilişkilidir:

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{1}{2} [(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (4)$$

Burada,  $\sigma_e$  eşdeğer gerilmedir ve  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  asal gerilmelerdir.

Toplam gerinim aşağıdaki denklem ile verilebilir:

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_{elastic} + \varepsilon_{plastic} + \varepsilon_{thermal} \quad (5)$$



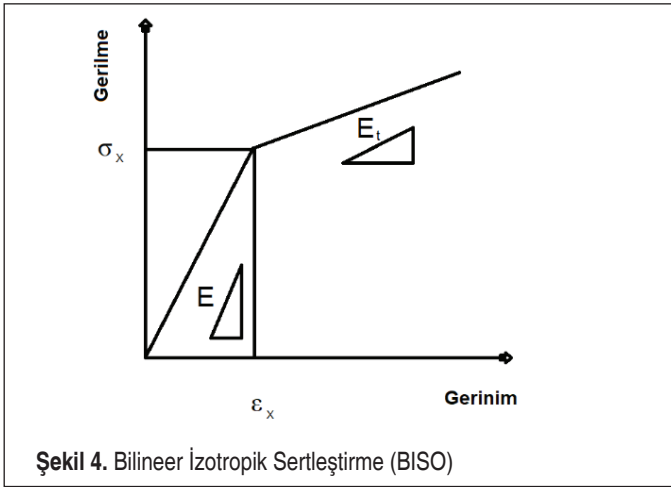


Gerilme ve deformasyon, denge ve kurucu denklemler birleştirilerek elde edilen aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir[14]:

$$[K_1]\{U\}-[K_2]\{T\}=\{R\} \quad (6)$$

Burada  $K_1$  ve  $K_2$  direngenlik matrisleri, U yer değiştirme vektörü, T sıcaklık vektörü ve R her düğümün sıcaklık yükleridir.

Gerinim sertleştirme etkisi Şekil 4'te gösterilmiştir. Burada, E Young modülü ve  $E_t$  teğet modülü anlamına gelir. Bu davranışa bilinear izotropik sertleştirme (Bilinear Isotropic Hardening- BISO) denir ve sayısal çözümü basitleştirir.



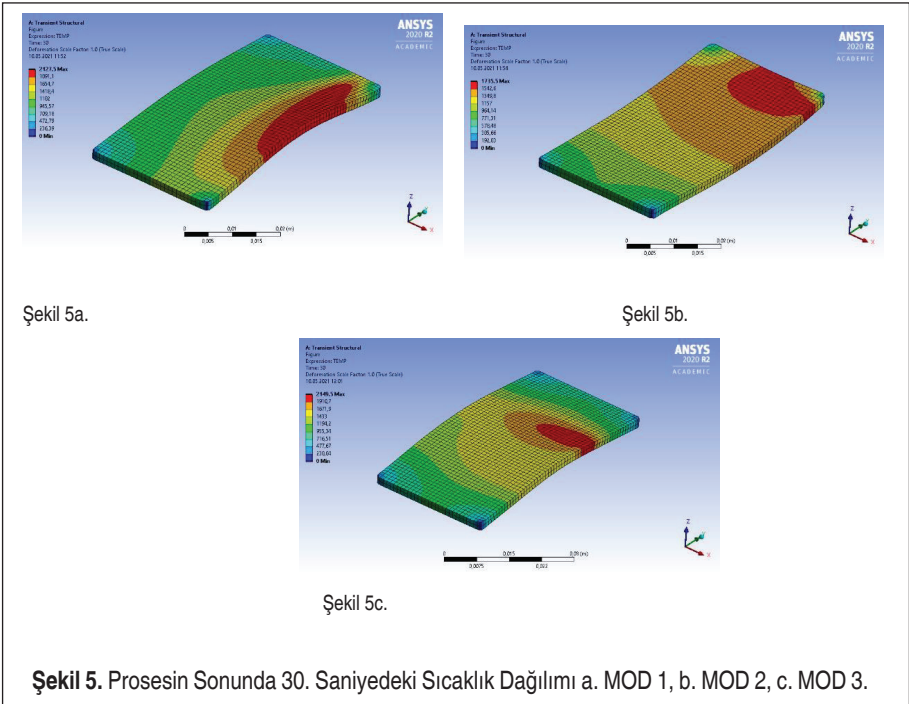
### 2.3 Doğrulama

Sonlu eleman modelini doğrulamak için ANSYS'de bir plaka modellenmiş ve kaynak prosesi simüle edilmiştir. Plakanın boyutları 300 × 150 × 4 mm'dir ve Chen ve arkadaşlarının çalışmasındaki 1 numaralı deney ile aynıdır [15]. Sıcaklık dağılımı söz konusu makaledeki aynı koşullardaki deney sonuçlarıyla karşılaştırıldığında; deneydeki 1 numaralı ısı çift ve onun karşılığı olan modelin en yüksek sıcaklıklarının sırasıyla 450 ve 444 C olduğu görülmüştür, iki numaralı ısı çift ve modelin en yüksek sıcaklıkları 248 ve 238 C'dir, son olarak üçüncü ısı çift ve model en yüksek sıcaklıklarının her ikisi de 165 C'dir. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere en yüksek hata % 4 olarak ortaya çıkmaktadır. Yapısal kısmın doğrulaması da aynı deneye göre yapılmıştır. Alın kaynaklı plakadaki maksimum deformasyon deneyde 4,5 mm iken 4 mm'lik plaka modelinde 3,5 mm'dir. Bu yüzde 22'lik bir hata yapar. Aynı deneye göre kaynak merkez hattı boyunca uzunlamasına gerilme 328 MPa'dır. Mevcut model, boylamasına gerilmeyi 312 MPa olarak tahmin etmektedir. Hata yüzdesi 4.8'dir. Buradaki değerler

göz önüne alındığında mevcut modelin hem sıcaklık dağılımını, hem deformasyonları, hem de artık gerilmeleri tahmin etmede kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Doğrulama yapıldıktan sonra,  $30 \times 60 \times 2$  mm'lik plaka için aynı çift elipsoid ısı kaynağı parametreleri kullanılarak sert kaplama uygulanmıştır. Her üç modelde de toplam kaynak süresi 180 saniye olmaktadır. Denklem 1 ve 2'deki Q değeri 1500 W olarak seçilmiştir ve şu şekilde ayrıştırılabilir: 15 Volt x 111 Amper x 0.9 (kaynak işleminin verimliliği). Kaynak hızı 6 mm / s olarak alınmıştır, dolayısıyla y eksenini boyunca 3 kaynak dikişi MOD 1 için söz konusudur. x eksenini boyunca yapılan 6 kaynak dikişi de MOD2'yi tanımlar. y eksenini boyunca 2 kaynak dikiş ve x eksenini boyunca 2 kaynak dikişi de MOD 3 için geçerlidir. Burada sert dolgu prosesi seyrek dikişler vasıtasıyla plakaların üzerinde gerçekleştirilmiştir. Zamana bağlı sonlu eleman çözümleri çok uzun sürdüğünden böyle bir tasarruf yapılmıştır. Kaldı ki aşınmaya karşı seyrek kaynak dikişlerinin bile faydalı olabileceği değerlendirilmektedir. Burada güdülen bir başka amaç da plakalardaki deformasyon ve gerilme trendlerinin görülmesi ve karşılaştırma yapılabilmesidir. Sert dolgu ile kaplanan plakaların üzerinde bulunabilecek kalıcı deformasyon ve artık gerilmelerin plakaların servis sırasındaki davranışlarına etki edeceği düşünülmüştür. Plakalarda yüksek kalıcı deformasyon istenmez, ayrıca kalıcı

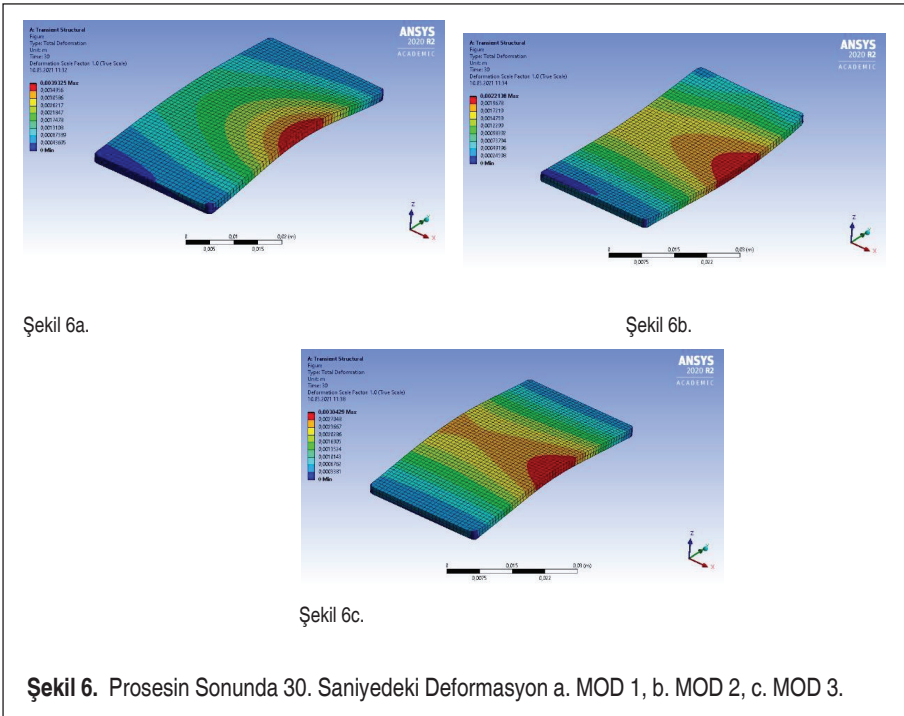




gerilmelerin de basma gerilmesi şeklinde olması emniyetli tarafta kalmamızı sağlar.

Isıl ve yapısal problemin beraber modellenmesi sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde sunulmuştur. Her üç sert dolgu modelinde (Bakınız Şekil 2a, 2b ve 2c), sert dolgu prosesinin son saniyesi olan 30. saniyede meydana gelen sıcaklık dağılımları Şekil 5a, 5b ve 5c’de verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde maksimum sıcaklığın en düşük olduğu modelin MOD 2 olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin boyuna yapılan kaynak prosesinde plakanın daha uzun bir süre ve devamlı olarak ısı iletimine maruz kaldığı değerlendirilmektedir. Sadece enine kaynak yapılan MOD 2 modelinde sıcaklığın bu nedenle 1735 C dereceye kadar yükselebildiği görülmüştür.

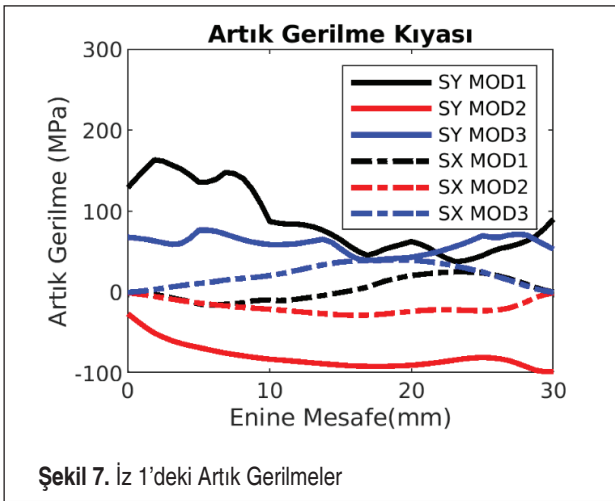
Şekil 6a, 6b ve 6c incelendiğinde kalıcı deformasyonun en fazla olduğu model MOD 1’dir. Bunu sebebinin meydana gelen yüksek sıcaklığa bağlı olduğu söylenebilir. MOD 2’de ise en düşük deformasyon elde edilmiştir. Bunun sebebi de aynı şekilde sıcaklığa bağlı olarak açıklanabilir. Sıcaklığın az veya çok olmasına bağlı olarak ısıl genişleme katsayısının etkisiyle ısıl gerinim yapısal analiz kısmında etkin olabilmektedir. Sıcaklığın değişmesiyle beraber sadece ısıl genişleme katsayısının etkisi söz konusu değildir. Aynı zamanda ısıl iletim katsayısı, ısıl kapasite ve yoğunluk da sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Yapısal modelde ise Young modülü ve Poisson oranı da sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Bu sayede ısıl model ile yapısal model birbiriyle doğrudan ve çift taraflı olarak etkileşim içindedir. Çift taraflı etkileşimden kasıt; sı-



caklık değişiminin deformasyon üzerinde etki etmesiyle beraber deformasyonun da sıcaklık değişimine etkisi olduğu (işle sertleştirme) gerçeğidir. Deformasyonun çarpaz modelde yani MOD 3'te diğer 2 modelin ortasında bir değere sahip olması hem boyuna hem de enine kaynak dikişlerinin yapılmış olmasına bağlanabilir. Şekil 6'da diğer bir önemli husus da MOD 1 ve MOD 3'te dış bükey plaka eğilmesi olurken, MOD 2'de iç bükey eğilme söz konusudur. MOD 1 ve MOD 3'deki dış bükeyliğin boyuna kaynak dikişlerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

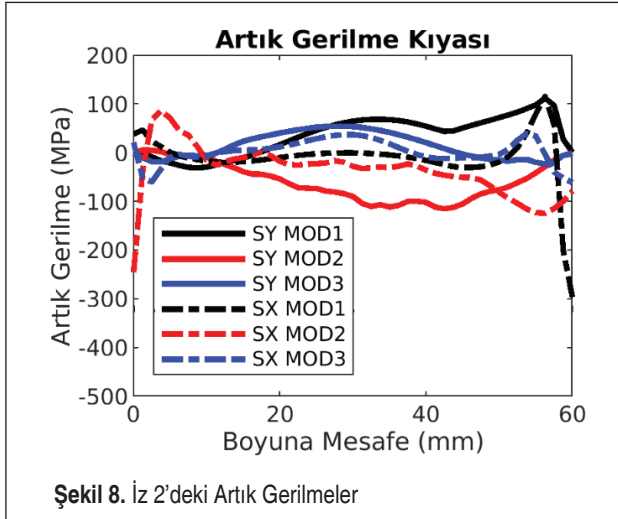
Şekil 7 İz 1 boyunca (Bakınız Şekil 3) meydana gelen boyuna (SY) ve enine (SX) artık gerilmelerin kıyasının yapıldığı şekildedir. Her üç modelde (Bakınız Şekil 2a, 2b ve 2c) meydana gelen enine ve boyuna gerilmelerin karşılaştırmalı olarak sunulduğu bu şekil incelendiğinde; en yüksek değer MOD 1 boyuna gerilmelerde ve en düşük değerin de MOD 2 boyuna gerilmelerde gözlemlendiği görülmüştür. Bu ikisi karşılaştırıldığında MOD 1'de çekme, MOD 2'de ise basma gerilmesinin olduğu görülmektedir. Bunlardan basma gerilmesi her zaman emniyetli tarafta kalmak için tercih edilmelidir. Her üç modelin enine gerilmeleri incelendiğinde, bunların boyuna gerilmelerin MOD 2 ve MOD 3 değerleri arasında yer aldığı görülmektedir. Bunların kendi aralarındaki sıralaması ise büyükten küçüğe doğru MOD 3, MOD 1 ve MOD 2'dir. Burada gene MOD 2'nin en küçük değerle emniyetli tarafta kaldığı görülmektedir.

Şekil 8 İz 2 boyunca (Bakınız Şekil 3) meydana gelen boyuna (SY) ve enine (SX) artık gerilmelerin kıyasının yapıldığı şekildedir. Burada İz 2'nin başlangıcı ve sonundaki küçük mesafeler kapsam dışı bırakıldığında, Şekil 7'dekine benzer bir dizilim oluştuğu görülmektedir. En yüksek değer gene MOD 1 boyuna gerilmelerde görülmektedir. En düşük değer ise MOD 2 boyuna gerilmelerde. Aynı şekilde MOD 2 hem enine hem de boyuna en yüksek basma gerilmesine neden olduğu için en emniyetli modeli oluşturmaktadır.



Şekil 7. İz 1'deki Artık Gerilmeler





#### 4. SONUÇLAR

Sert dolgu prosesinde en yüksek sıcaklığın hem boyuna hem de enine kaynak dikişleri içeren MOD 3'te gerçekleştiği görülmüştür. En düşük sıcaklık ise MOD 2'de görülmüştür. MOD 2 sadece enine kaynak dikişi içermektedir. En düşük deformasyon da MOD 2'de gözlenmiştir. MOD 1 ve MOD 3'te dışbükey eğilme, MOD 2'de ise iç bükey eğilme söz konusudur. MOD1 ve MOD3'teki dışbükeyliğin boyuna kaynak dikişlerinden kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Dikdörtgen plakadaki enine izde en yüksek artık gerilme MOD 1'deki boyuna gerilmedir, en küçük gerilme ise MOD 2'deki boyuna gerilmedir; enine gerilmeler ise büyükten küçüğe doğru MOD 3, MOD 1 ve MOD 2 şeklinde sıralanmıştır. Dikdörtgen plakadaki boyuna izin başlangıcı ve sonundaki küçük bölgeler hariç gerilmeler enine izdekine benzer bir şekilde sıralanmıştır. Gelecekte bu çalışmanın devamında yapılabilecek çalışmalar şu şekilde özetlenebilir: Plakalar üzerinde seyrek ve sık değişik yüzey paternleri incelenmeli ve bunlarda meydana gelebilecek deformasyon ve artık gerilmeler karşılaştırılmalıdır.

#### KAYNAKÇA

1. Goldak, J., Chakravarti, A. & Bibby, M. 1984. A New Finite Element Model for Welding Heat Sources. Met. Trans. B 15 B, 299 , doi: 10.1080/21681805.2017.1363816.
2. Pandey, A. K., Dixit, A., Pandey, S. & Pandey, P. M. 2019. Distortion control in welded structure with advanced submerged Arc welding. in Materials Today: Proceedings vol. 26 1492–1495 , doi: 10.1016/j.matpr.2020.02.306.
3. İrizalp, S. G., Saklakoğlu, N., İldaş, G. & Demirok, S. 2018. 1 . 2714 Çeliği Üzerine Sert Dolgu K aynağı ile K aplanmış Fe-Cr-V E saslı Alaşımın Malzeme Özelliklerinin

- İncelenmesi Examination of Materials Properties of Fe-Cr-V Hardfacing Coating Deposited on. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimar. Fakültesi Derg. 33, 35–46.
4. **Çelik, A. A., Şen, Ş. & Şen, U.** 2015. TIG kaynağı ile yüzeyi sertleştirilen AISI1020 ve AISI 316 çeliğinin mikroyapı incelemeleri Microstructure investigation of harfaced AISI 1020 and AISI 316 steel by TIG welding. 237–244.
  5. **Kaptanoğlu, M. & Eroğlu, M.** 2017. Ferroniyobyum ve Ferrobor İçeren Tozaltı Kaynak Tozları ile Elde Edilen Kaplamaların Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg. 20, 64–64, doi: 10.17780/ksujes.292373.
  6. **Moselli, P. C., de Oliveira, M. F. & Moreno, J. R. S.** 2013. Wear resistance in hardfacing applied in substrate SAE 1020 using welding process Gas Tungsten Arc Welding (GTAW) alloy Stellite 6 in powder form. Sci. Res. Essays 8, 1730–1740 , doi: 10.5897/SRE2013.5638.
  7. **Pradeep, G. R. C., Ramesh, A. & Prasad, D. B.** 2010. a Review Paper on Hardfacing Processes and Materials. Int. J. Eng. Sci. Technol. 2, 6507–6510.
  8. **Kaptanoğlu, M., Odabaşı, A. & Aydoğmuş, Z.** 2016. Prediction of Optimal Process Parameters in Hardfacings Obtained by Using Submerged Arc Welding Technique. Haran Üniversitesi Mühendislik Derg. 1, 25–35.
  9. **Zhao, C., Stewart, D., Jiang, J. & Dunne, F. P. E.** 2018. A comparative assessment of iron and cobalt-based hard-facing alloy deformation using HR-EBSD and HR-DIC. Acta Mater. 159, 173–186 , doi: 10.1016/j.actamat.2018.08.021.
  10. **Wu, A. P., Ren, J. L., Peng, Z. S., Murakawa, H. & Ueda, Y.** 2000. Numerical simulation for the residual stresses of Stellite hard-facing on carbon steel. J. Mater. Process. Technol. 101, 70–75 , doi: 10.1016/S0924-0136(99)00456-2.
  11. **Yang, Q. X., Yao, M. & Park, J.** 2004. Numerical simulation on residual stress distribution of hard-face-welded steel specimens with martensite transformation. Mater. Sci. Eng. A 364, 244–248 , doi: 10.1016/j.msea.2003.08.024.
  12. **Lazic, V., Arsić, D., Nikolić, R. R.** 2015. Experimental determination of deformations of the hard faced samples made of steel for operating at elevated temperatures. in Procedia Engineering vol. 111 495–501 , doi: 10.1016/j.proeng.2015.07.122.
  13. **Lazić, V., Arsić, D., Nikolić, R. R. & Hadzima, B.** 2016. Experimental Determination of Residual Stresses in the Hard-faced Layers after Hard-facing and Tempering of Hot Work Steels. in Procedia Engineering vol. 153 392–399 , doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.139.
  14. **Savaş, A.** 2021. Investigating the thermal and structural responses in hard-facing application with the GTAW process. J. Theor. Appl. Mech. 59, 343–35, doi: 10.15632/jtam-pl/136210
  15. **Chen, B. Q., Hashemzadeh, M. & Guedes Soares, C.** 2014. Numerical and experimental studies on temperature and distortion patterns in butt-welded plates. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 72, 1121–1131 , doi: 10.1007/s00170-014-5740-8.
  16. **Xavier, C. R., Junior, H. G. D. & De Castro, J. A.** 2015. An experimental and numerical approach for the welding effects on the duplex stainless steel microstructure. Mater. Res. 18, 489–502 , doi: 10.1590/1516-1439.302014.



## EK 1

### Transient Structural APDL komutları (çift elipsoid hareketli ısı kaynağı):

```
TREF,20
SF,Convection,CONV,10,20
SF,Convection,RAD,0.8,20
CMSEL,ALL

*GET,EMAX,ELEM,,NUM,MAX
*GET,EMIN,ELEM,,NUM,MIN

ALLSEL
TIME_WELD=10
DT=0.02
A=0.005
B=0.005
C1=0.005
C2=0.015
TAU=0
FF=0.5
FR=1.5
Q=1500
VEL=6e-3
NPT=TIME_WELD/DT
NROPT, FULL

!FIRST PASS

*DO,i,1,NPT,1
WTIME=(i/50)
TIME,WTIME+0*TIME_WELD
HCENTER=VEL*WTIME

*DO,jj,EMIN,EMAX,1
X=CENTRX(jj)-1*0.005
Y=CENTRY(jj)
Z=CENTRZ(jj)
CSI=Y+VEL*(TAU-WTIME)

*IF,Y,GT,HCENTER,THEN
C=C1
F=FF

*ELSE
C=C2
F=FR

*ENDIF
```

```
PART1=(6*(3**0.5)*F*Q)/(A*B*C*3.14*(3.14**0.5))
PART2=(exp(-3*(Z/A)**2))*(exp(-3*(X/B)**2))*(exp(-3*(CSI/C)**2))
QF=PART1*PART2
BFE,jj,HGEN,,QF
*ENDDO

SOLVE
*ENDDO

!SECOND PASS

*DO,i,1,NPT,1
WTIME=(i/50)
TIME,WTIME+1*TIME_WELD
HCENTER=VEL*WTIME

*DO,jj,EMIN,EMAX,1
X=CENTRX(jj)-1*0.015
Y=CENTRY(jj)
Z=CENTRZ(jj)
CSI=Y+VEL*(TAU-WTIME)

*IF,Y,GT,HCENTER,THEN
C=C1
F=FF

*ELSE
C=C2
F=FR

*ENDIF
PART1=(6*(3**0.5)*F*Q)/(A*B*C*3.14*(3.14**0.5))
PART2=(exp(-3*(Z/A)**2))*(exp(-3*(X/B)**2))*(exp(-3*(CSI/C)**2))
QF=PART1*PART2
BFE,jj,HGEN,,QF
*ENDDO

SOLVE
*ENDDO

!THIRD PASS

*DO,i,1,NPT,1
WTIME=(i/50)
TIME,WTIME+2*TIME_WELD
HCENTER=VEL*WTIME

*DO,jj,EMIN,EMAX,1
X=CENTRX(jj)-1*0.025
```



```

Y=CENTRY(jj)
Z=CENTRZ(jj)
CSI=Y+VEL*(TAU-WTIME)

*IF,Y,GT,HCENTER,THEN
C=C1
F=FF

*ELSE
C=C2
F=FR

*ENDIF
PART1=(6*(3**0.5)*F*Q)/(A*B*C*3.14*(3.14**0.5))
PART2=(exp(-3*(Z/A)**2))*(exp(-3*(X/B)**2))*(exp(-3*(CSI/C)**2))
QF=PART1*PART2
BFE,jj,HGEN,,QF
*ENDDO

SOLVE

*ENDDO

CMSEL,ALL
BFEDELE,ALL,ALL
ALLSEL

```

## EK 2

**Geometry-Solid-Command APDL komutları (St37'nin sıcaklığa bağlı termo-fiziksel ve termo-mekanik özellikleri):**

```

ET,1,226
KEYOPT,1,1,11
KEYOPT,1,2,1
KEYOPT,1,6,1
KEYOPT,1,9,1

MPTEMP,1,0,100,200,300,400,600
MPTEMP,7,800,1200,1300,1500

MPDATA,DENS,1,1,7900,7880,7830,7790,7750,7660
MPDATA,DENS,1,7,7560,7370,7320,7320

MPDATA,C,1,1,444,472,503,537,579,692
MPDATA,C,1,7,837,860,863

MPDATA,KXX,1,1,45.9,44.8,43.4,41.4,38.9,33.6
MPDATA,KXX,1,7,28.7,28.6,29.5

MPDATA,KYY,1,1,45.9,44.8,43.4,41.4,38.9,33.6

```

MPDATA,KYY,1,7,28.7,28.6,29.5

MPDATA,KZZ,1,1,45.9,44.8,43.4,41.4,38.9,33.6

MPDATA,KZZ,1,7,28.7,28.6,29.5

MPDATA,EX,1,1,205E09,202.5E09,200E9,187.5E09,175E09,148E09

MPDATA,EX,1,7,100E09,17.5E09,15E09,10E09

MPDATA,EY,1,1,205E09,202.5E09,200E9,187.5E09,175E09,148E09

MPDATA,EY,1,7,100E09,17.5E09,15E09,10E09

MPDATA,EZ,1,1,205E09,202.5E09,200E9,187.5E09,175E09,148E09

MPDATA,EZ,1,7,100E09,17.5E09,15E09,10E09

MPDATA,NUXY,1,1,0.33,0.34,0.35,0.36,0.37,0.39

MPDATA,NUXY,1,7,0.41,0.45,0.46,0.48

MPDATA,NUYZ,1,1,0.33,0.34,0.35,0.36,0.37,0.39

MPDATA,NUYZ,1,7,0.41,0.45,0.46,0.48

MPDATA,NUXZ,1,1,0.33,0.34,0.35,0.36,0.37,0.39

MPDATA,NUXZ,1,7,0.41,0.45,0.46,0.48

MPDATA,GXY,1,1,205E09/2.8,202.5E09/2.8,200E9/2.8,187.5E09/2.8,175E09/2.8,148E09/2.8

MPDATA,GXY,1,7,100E09/2.8,17.5E09/2.8,15E09/2.8,10E09/2.8

MPDATA,GYZ,1,1,205E09/2.8,202.5E09/2.8,200E9/2.8,187.5E09/2.8,175E09/2.8,148E09/2.8

MPDATA,GYZ,1,7,100E09/2.8,17.5E09/2.8,15E09/2.8,10E09/2.8

MPDATA,GXZ,1,1,205E09/2.8,202.5E09/2.8,200E9/2.8,187.5E09/2.8,175E09/2.8,148E09/2.8

MPDATA,GXZ,1,7,100E09/2.8,17.5E09/2.8,15E09/2.8,10E09/2.8

MPDATA,AL

PX,1,1,0.000012,0.0000122,0.0000124,0.0000126,0.0000128,0.0000132

MPDATA,ALPX,1,7,0.0000136,0.0000144,0.0000146,0.000015

MPDATA,AL

PY,1,1,0.000012,0.0000122,0.0000124,0.0000126,0.0000128,0.0000132

MPDATA,ALPY,1,7,0.0000136,0.0000144,0.0000146,0.000015

MPDATA,AL

PZ,1,1,0.000012,0.0000122,0.0000124,0.0000126,0.0000128,0.0000132

MPDATA,ALPZ,1,7,0.0000136,0.0000144,0.0000146,0.000015

TB,BISO,1,1,2

TBDATA,,235E06,2E09

MP,QRATE,1,0.9

# MÜHENDİS VE MAKİNA DERGİSİ YAZIM ESASLARI

**Mühendis ve Makina** dergisi, TMMOB Makina Mühendisleri Odası tarafından, ülke sanayisinin, toplumun, Odamıza üye meslek disiplinlerinin ve meslektaşlarımızın bilimsel, teknik ve mesleki konularda bilgi gereksinimlerini karşılamak, bilimsel ve teknik yönde gelişimlerine katkıda bulunmak üzere düzenli 3 aylık periyotlarla yayımlanan mesleki teknik bir yayın organıdır. "Mühendis ve Makina Dergisine" makina mühendisliği alanında aşağıda nitelikleri açıklanmış yazılar Türkçe ve İngilizce olarak kabul edilmektedir.

**Araştırma Makalesi:** Orijinal bir araştırmayı bulgu ve sonuçlarıyla yansıtan yazılardır. Çalışmanın bilime katkısı olmalıdır.

**Tarama Makalesi:** Yeterli sayıda bilimsel makaleyi tarayıp, konuyu bugünkü bilgi ve teknoloji düzeyinde özetleyen, değerlendirme yapan ve bulguları karşılaştırarak yorumlayan yazılardır.

## SUNUŞ FORMATI

1. Yazı tümüyle (metin, çizelgeler, denklemler, çizimler) bilgisayarda düzenlenmeli ve baskıya hazır biçimde teslim edilmelidir. Yazı, A4 (210x297 mm) boyutlu kağıda, Word ortamında, 10 punto (ana başlık 15 punto) Times New Roman font kullanılarak, bir aralıkla yazılmalıdır.
2. Çizimler (şekiller) ve çizelgelerle (tablolar) birlikte, makaleler 25 sayfadan, kısa bildiriler 4 sayfadan daha uzun olmamalıdır.
3. Yazı, Online Makale Yönetim Sistemi (OMYS) üzerinden gerekli kayıtlar oluşturularak gönderilmelidir. Yüklenen makale, "makale adının ilk 2 ya da 3 kelimesi" şeklinde adlandırılmalıdır. OMYS'ye yüklenen makalede yazar bilgileri bulunmamalı, yazar bilgileri için ayrıca bir kapak sayfası oluşturularak sisteme yüklenmelidir. Kapakta makale adı ve yazar iletişim bilgileri (adı soyadı, adresi, e-postası, yazara ait ORCID\* bilgisi varsa akademik unvanı) yer almalıdır.
4. Metin yalın bir dil ve anlatımla yazılmalı, Türkçe yazım kurallarına uygun olmalı, üçüncü tekil şahıs ve edilgen fiiller kullanılmalı, devrik cümleler içermemelidir.
5. Başlık mümkün olduğunca kısa (en çok 100 harf) ve açık olmalı, içeriği yansıtabilmelidir. İngilizce başlıktaki kelimeler ilk harfleri büyük ve gramer kurallarına uygun şekilde yazılmalıdır.
6. Bölümler (i) öz ve anahtar kelimeler, (ii) abstract ve keywords (İngilizce başlık, öz ve anahtar kelimeler), (iii) ana metin, (iv) semboller, (v) teşekkür (gerekliyse) ve (vi) kaynaklar sırası içinde düzenlenmelidir.
7. Öz (ve abstract) çalışmanın amacını, kapsamını, yöntemini ve ulaşılan sonuçları kısaca tanımlamalı ve 100 kelimeyi aşmamalıdır. En az üç tane Türkçe ve İngilizce anahtar kelime verilmelidir. Türkçe ve İngilizce Başlık, Öz (abstract) ve anahtar kelimeler (keywords) birinci sayfaya sığdırılmalı ve ana metin ikinci sayfadan başlatılmalıdır.
8. Bölüm ve alt bölüm başlıkları numaralandırılmalıdır (TS 1212 ISO 2145).
9. Semboller uluslararası kullanıma uygun seçilmeli; her bir sembol ilk kullanıldığı yerde tanımlanmalı, ayrıca metnin sonunda (Kaynaklardan önce) tüm semboller alfabetik sırayla (önce Latin alfabesi, sonra Yunan alfabesi) listelenmelidir.
10. Denklemler numaralandırılmalı ve bu numaralar satır sonunda parantez içinde gösterilmelidir.
11. Fotoğraflar tarayıcıdan geçirilerek çözünürlüğü en az 300 dpi olacak şekilde ve jpeg formatında bilgisayara ortamına aktarılmalıdır. Çizelgeler, çizimler ve fotoğraflar metin içine yerleştirilmeli, her birine numara ve başlık verilmeli, numara ve başlıklar çizim (şekil) ve fotoğrafların altına, çizelgelerin (tablo) üstüne yazılmalıdır.

12. Yazılarda yalnızca SI birimleri kullanılmalıdır.
13. Etik kuralları gereğince, alıntılar tırnak içinde verilmeli ve bir referans numarasıyla kaynak belirtilmelidir.
14. Teşekkür metni olabildiğince kısa olmalı, çalışmaya katkısı ve desteği bulunan kişi ve kuruluşlar belirtilmelidir.
15. Kaynaklar metinde köşeli parantez içinde numaralanmalı ve kaynaklar listesinde metin içinde verilmiş sırasına uygun biçimde belirtilmelidir. Kaynaklarda şu bilgiler verilmelidir:
  - Kaynak bir makale ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar. yıl. "makalenin tam başlığı," derginin adı, cilt, sayı, başlama ve bitiş sayfaları.
  - Örnek 1:** Kaçar, E. N., Erbay, L. B. 2013. "Isı Değiştiricilerin Tasarımına Bir Bakış," Mühendis ve Makina, cilt 54, sayı 644, s.14-43.
  - Örnek 2:** Kaçar, E. N., Erbay, L. B. 2013. "A Design Review For Heat Exchangers," Engineer and Machinery, vol. 54, no. 644, p.14-43.
  - Kaynak bir kitap ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar. yayınlandığı yıl. kitabın adı, varsa cilt numarası, varsa editörü, yayın veya ISBN no, yayın evi, yayımlandığı yer.
  - Örnek:** Lazzarin, R., Nalini, L. 2013. Havanın Nemlendirilmesi, ISBN: 978-605-01-0441-7, MMO/599, TMMOB MMO Yayını, İzmir.
  - Kaynak bildiri ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar. yıl. "bildirinin adı," konferansın adı, tarihi, yapıldığı yer.
  - Kaynak tez ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi. yıl. "tezin adı," derecesi, sunulduğu kurum, şehir.
  - Kaynak rapor ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar. yıl. raporun adı, türü, yayın numarası, kuruluşun adı, yayımlandığı yer.
  - Kaynak internet adresi ise:** Yazarın soyadı, adının baş harfi., diğer yazarlar. yıl. "yazının adı," internet bağlantısı, son erişim tarihi.

\* Bilindiği üzere, araştırmacı, bilim insanı ve akademisyenlerin bilimsel çalışmalarındaki isim/kurum benzerliklerinden kaynaklanan bazı sorunların önüne geçilebilmesi amacıyla araştırmacı kimlik numaraları kullanılmaktadır. TÜBİTAK ULAKBİM ve YÖK arasındaki işbirliği ile yürütülen çalışmalar kapsamında, ORCID bilgisinin kullanılması karar verilmiştir. Bu bağlamda, makale yazarlarının uluslararası geçerliliği de bulunan "ORCID" bilgisine makalelerde yer verilmesi gerekmektedir. ORCID, Open Researcher ve Contributor ID'nin kısaltmasıdır. ORCID, Uluslararası Standart Ad Tanımlayıcı (ISNI) olarak da bilinen ISO Standardı (ISO 27729) ile uyumlu 16 haneli bir numaralı bir URL'dir. <http://orcid.org> adresinden bireysel ORCID için ücretsiz kayıt oluşturabilirsiniz.



## YAYIN İLKELERİ

1. Yazıların telif hakkı devri, dergi internet sayfasında sunulan form doldurulup imzalanmak suretiyle alınır. İmzalı *Telif Hakkı Devir Formu*'nu göndermeyen yazarların yayınları değerlendirmeye alınmaz.
2. Yazılar, DergiPark sistemi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina> üzerinden alınmaktadır. Her yazı, konusuyla ilgili en az iki hakem tarafından değerlendirilir. Hakem görüşlerinde belirtilen eksikler yazarlar tarafından tamamlandıktan sonra, dergide yayımlanabilecek nitelikte olanlar belirlenir ve yazara bilgisi verilir. Dergide basıldığı haliyle makale içinde bulunabilecek hataların sorumluluğu yazarlara aittir.
3. Yazar isimleri hakemlere bildirilmediği gibi, yazar/lar/a yazının hangi hakemlere gönderildiği de hiç bir şekilde bildirilmez. Yayınlanmayan yazılar istenildiğinde hakem raporlarıyla birlikte hakem isimleri belirtilmeden yazar/lar/a geri gönderilir.
4. Yayın Kurulu hakemlerden gelen eleştiriler doğrultusunda yazının derginin bir başka bölümünde yayımlanmasının uygun olduğuna karar verebilir ve bu kararı yazar/lar/ın onayına sunar. Yazar/lar/ın da uygun görmesi durumunda, yazı önerilen bölümde yayımlanır.
5. Dergiye gönderilen yazıların 'Yazım Esasları'na uygun olması gerekir. Esaslara uygunluk göstermeyen yazılar değerlendirmeye alınmadan yeniden düzenlenmesi için yazar/lar/a iade edilir.
6. Yayımlanan yazılar için yazar/lar/a ve değerlendirme yapan hakemlere derginin o sayısından birer kopya gönderilir.
7. Verilen süre içinde kendisine gönderilen yazıyı değerlendirmeyen ve dergi yayınında aksamaya neden olan hakemin, Yazı Değerlendirme (Hakem) Kurulu üyeliği gözden geçirilir.
8. Yayın Kurulu, gerekli gördüğü durumlarda yeni Yazı Değerlendirme (Hakem) Kurulu üyeleri atayabilir.
9. Araştırma ve tarama makalelerindeki görüşler yazarına, çevirilerden doğacak sorumluluk ise çevirene aittir.
10. Yazılar başka süreli yayınlarda yayımlanmamış olmalıdır. Herhangi bir toplantıda tebliğ olarak sunulmuş veya sunulacak ise bu açık olarak belirtilmelidir.
11. Hakem değerlendirme raporuna katılmayan yazar makalesini geri çekme hakkına sahiptir. Ancak geri çekme gerekçesini yazılı olarak yayın kuruluna sunmalıdır.
12. Dergideki yazılardan kaynak göstererek alıntı yapılabilir.
13. Yazılar için telif ücreti ödenmemektedir.
14. Yazılar araştırma ve yayım etiğine uyumlu hazırlanmalıdır. Etik kurallara aykırı davranışlarda (uydurma, çarpıtma, aşırma, tekrar yayım, dilimleme, destekleyen kuruluşu belirtmeme, haksız yazarlık, kaynak göstermeme vb.) bulunulmamalıdır.
15. Makalenin konusu ile ilgili şartlar;

Makalenin konusu TMMOB Genel Kurul ve Yönetim Kurulu kararlarıyla TMMOB Makina Mühendisleri Odasına kayıtlı mühendislik disiplinlerinin çalışma alanı ile ilgili olmalıdır.

“Makina, Uçak, Havacılık, Uzay, Mekatronik, Sistem, İmalat, Üretim, Üretim Tekniği, Üretim Sistemleri, Otomotiv, Endüstriyel Tasarım, Enerji Sistemleri, Makina ve İmalat ile Raylı Sistemler Mühendisliği

# ABOUT ENGINEER AND MACHINERY JOURNAL AND ITS WRITING PRINCIPLES

**Engineer and Machinery Journal** is a vocational and technical publication that is published on a quarterly basis and aims at providing our country's industry, society, and disciplines and colleagues who are members of Chamber with their scientific, technical and vocational knowledge needs, as well as to contribute to their scientific, and technical development. The English and Turkish articles on mechanical engineering field with the following qualities written in the format stated below are accepted to "Engineers and Machinery Journal".

**Research Article:** It must reflect an authentic research with its findings and results. The research must contribute to science.

**Literature Review Article:** They must review an adequate number of scientific articles, summarize and evaluate the subject according to current knowledge and technological level, and compare their findings before interpreting them.

## PRESENTATION FORMAT

1. The whole article (text, tables, equations, drawings) must be typed and arranged on computer and delivered as ready for publication. The article must be written on an A4 (210x297 mm) paper, via Word MS, in 10 font size (heading must be in 15 font size) of Times New Roman with single space.
2. Articles including their drawings and tables must not exceed 25 pages and short papers must not exceed 4 pages.
3. Articles must be sent via registration on Online Article Management System (OMYS). The uploaded article must be named as "article\_the first 2 or 3 words of the title of article". The articles uploaded on OMYS should not contain any information about the author. The information about the author must be presented in a separate cover page, which must be also uploaded on the system. The cover page must demonstrate the name of the article and contact information of the author (name, surname, address, e-mail, academic title if there is one).
4. The article must be written in a plain language and style. It must comply with the spelling rules of the language used; third-person singular and deponent verbs must be used, whereas; inverted sentences must not be employed.
5. The title of the article must be clear and as short as possible (100 characters to the maximum) and also reflect the content. The first letters of English titles must be in capitals and titles must be written according to grammatical rules.
6. Chapters must be arranged in the following order: (i) abstract and keywords (in Turkish), (ii) abstract ve keywords (in English), (iii) main text, (iv) symbols, (v) acknowledgment (if necessary), and (vi) references.
7. Abstract must briefly define the objective, scope, method, and results of the study and must not exceed 100 words. At least three English and Turkish keywords must be provided. The first page must include the title in both Turkish and English, the abstract, and keywords; the main text must start from the second page.
8. The titles of chapters and sub-chapters must be numbered (TS 1212 ISO 2145).
9. Symbols must be employed according to international use; each symbol must be defined at their first use

in the text; at the end of the article (before References), all symbols used must be listed in alphabetical order (Latin Alphabet first, Greek alphabet second).

10. Equations must be numbered and these numbers must be indicated in parentheses at the end of line.
11. Photographs must be scanned, and transferred to computers in jpeg format with a resolution of 300 dpi at least. Drawings, tables, and photographs must be integrated into the text; each of them must be given a number and title; numbers and titles must be written under drawings (figures) and photographs, and above tables.
12. Only SI units must be used in articles.
13. As required by ethical rules, citations must be presented in quotes and its reference must be demonstrated via a reference number.
14. Acknowledgments must be as brief as possible and state the people and institutions having contributed to the study.
15. References must be numbered via brackets in the text; in the list of references, they must be indicated according to their order in the text. The references must include the following information:

**If reference is an article:** Author's surname, initial of his/her name., other authors. year. "full title of the article," name of the journal, volume, issue, start and end page.

**If reference is a book:** Author's surname, initial of his/her name., other authors. year of publication. name of the book, volume number (if available), editor (if available), publication or ISBN no, publishing house, place of publication.

**If reference is a paper:** Author's surname, initial of his/her name., other authors. year. "name of the paper," name of the conference, date, place.

**If reference is a thesis:** Author's surname, initial of his/her name., other authors. year. "name of the thesis," degree, presented institution, city.

**If reference is a report:** Author's surname, initial of his/her name., other authors. year. name of the report, type of the report, publication number, name of the institution, place of publication.

**If reference is a website:** Author's surname, initial of his/her name., other authors. year. "name of the article," internet address, last date of access.day.month.year

## PRINCIPLES OF PUBLICATION

1. The copyrights of articles are transferred by signing the form presented on the website of the journal. The articles of authors, who have not signed and sent the Form for Transfer of Copyrights, will not be taken into consideration.
2. Each article is sent to at least two arbitrators, who are experts in the subject of article. After authors revise their articles based on the suggestions of arbitrators, the ones that are deemed appropriate to be published on the journal are determined and authors are notified. The final version of articles are organized and sent by authors to the secretary of publication via dergipark. The errors that may be found in the article following its publication are the responsibility of the author.
3. Neither arbitrators are notified of the names of the authors, nor authors are notified of the names of arbitrators. The unpublished articles are sent back to authors with arbitration reports, upon author's request.
4. The Publication Committee may decide that the article be published in another section of the journal, based on the suggestions of arbitrators and may present their decision for the approval of author(s). If also deemed appropriate by author(s), the article is published on the presumed section.
5. The articles sent to the Journal must comply with the 'Principles of Writing'. The articles not complying with these principles will be returned to the author(s) for revision, without being evaluated.
6. A copy of the issue of the journal is sent to the authors of articles published in that issue and the arbitrators who evaluated those articles.
7. The membership to the Article Assessment Committee of the arbitrator, who have not evaluated the article within the due time and thereby caused delay in the publication of the journal, is reviewed.
8. The Publication Committee may appoint new members to the Article Assessment Committee, if/when they deem necessary.
9. The views stated in the research and literature review articles are the responsibility of the author, whereas; the consequences which may result from its translation are the responsibility of the translator.
10. The articles must be not published on any other periodical publications. It should be clearly stated if the articles were presented or are planned to be presented as a paper in any meeting.
11. The author(s), who do not agree with the report of the arbitrators, may withdraw his/her article. However, the author(s) must present the reason behind his/her withdrawal to the publication committee in a written manner.
12. It is allowed to cite the articles published in the journal as long as the source is stated.
13. A royalty (a fee for copyrights) is not paid for articles.
14. Articles must be written according to the ethics of scientific research and publication. Conducts against the ethical rules (fabrication, falsification, plagiarism, republication, salami slicing, excluding the supporting bodies of the work, undeserved authorship, excluding some/all references, etc.) must be avoided.
15. Conditions related to the subject of the article; The subject of the article should be related to the field of study of engineering disciplines registered in TMMOB Chamber of Mechanical Engineers with the decisions of TMMOB General Assembly and Board of Directors.

“Machinery, Aircraft, Aviation, Space, Mechatronics, System, Manufacturing, Production, Production Technique, Production Systems, Automotive, Industrial Design, Energy Systems, Machinery and Manufacturing and Rail Systems Engineering”

Please send your articles via the system at <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina>, in order to minimize the costs and time loss, which may result from the process of sending articles and evaluation by arbitrators.

<b>Ev Tipi Bir Buzdolabının Analitik İncelemesi ve Tasarım Parametrelerinin Elde Edilmesi</b> <i>Analytical Examination of a Household Refrigerator and Obtaining Design Parameters</i> Merve AKKAYA, Ünal ÇAMDALI	395
<b>İmplant-Çimento Arayüzeyinin Kesme Dayanımını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi</b> <i>Investigation of Factors Affecting Shear Strength of Implant-Cement Interface</i> Sait KOÇAK, Tezcan ŞEKERCIOĞLU	415
<b>Mardin İlinin Hayvansal Gübre Kaynaklı Biyogaz Potansiyelinin Belirlenmesi</b> <i>Determination of Biogas Potential from Animal Manure in Mardin Province</i> Süleyman ATILGAN, Adem YILMAZ	429
<b>COVID19 Pandemisinin Havacılık Sektörü Üzerine Etkileri</b> <i>The Effect of COVID19 Pandemic on Aviation Industry</i> Berke HOPANCI, Hamza AKDENİZ, Özlem ŞAHİN	446
<b>Farklı Mesafeli ve Üçlü-Çapraz Yerleştirilmiş Çatısız Binalar Etrafındaki Akış Özelliklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi</b> <i>Experimental Research of Flow Characteristics Around Buildings without Roof Placed Different Distance and Triple-Diagonal</i> Deniz GÖLBAŞI, Ertan BUYRUK, Koray KARABULUT	468
<b>Performans Ölçütlerine Dayalı Bakım Yönetim Modülünün İş Süreçleri Yönetimi Yaklaşımı ile Modellenmesi</b> <i>Modelling Performance Criteria Based Maintenance Management Module by Using Business Process Management Approach</i> Leyla Özgür POLAT, Aşkın GÜNGÖR	486
<b>PLM Kullanımı ile Ürün Geliştirme Sürecinde Etkin Bilgi Akışının Sağlanması</b> <i>Ensuring Effective Information Flow by Using PLM in Product Development Process</i> Gamze SARI, Sami SAYER	513
<b>Üniversite Binalarının Enerji Performans Değerlendirmesi: MCBÜ Köprübaşı Meslek Yüksekokulu Örneği</b> <i>Energy Performance Evaluation of University Buildings: MCBU Köprübaşı Vocational School Example</i> Ali Murat ATEŞ, Özer KESTANE, Koray ÜLGEN	534
<b>Manyetik Levitasyon Sistemleri İçin Ağırlıklı Geometrik Merkez Yöntemi ile PI-PD Kontrolcü Tasarımı</b> <i>PI-PD Controller Design for Magnetic Levitation Systems Via Weighted Geometrical Center Method</i> Cem ONAT, Mahmut DASKİN, Abdullah TURAN, Ömerülfaruk ÖZGÜVEN	556
<b>Endüstri 4.0 ve 3 Boyutlu Yazıcıların Karşılaştırılması</b> <i>Industry 4.0 and Comparison Of 3D Printers</i> Ahmet Fatih YURAN, İbrahim YAVUZ	580
<b>Yük Kapasitesi Şase Yapısından Bağımsız Bir Otonom Mobil Robot Tasarımı ve Dayanım Analizi</b> <i>Design and Strength Analysis of an Autonomous Mobile Robot Chassis Structure Independent of the Load Capacity</i> Alaattin E. GÜRKAL, Alpaslan Burak İNNER, Eylül ÖZER, Ali KİBAR	607
<b>TiG Kaynağı ile Gerçekleştirilen Sert Dolgu Sırasında Oluşan Artık Gerilme ve Deformasyonların Modellenmesi</b> <i>Modeling of Residual Stresses and Deformations During Hardfacing by Gtaw</i> Atilla SAVAŞ	620