



tmmob makina mühendisleri odası  
*uctea chamber of mechanical engineer*

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

# Mühendis ve Makina

Engineer and Machinery

**Cilt 58**

Volume 58

**Sayı 689**

Number 689

**Ekim-Aralık 2017**

October-December 2017

## TMMOB MAKİNA MÜHENDİSLERİ ODASI

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

**Ekim-Aralık/October-December 2017**

**Cilt/Vol: 58 Sayı/No: 689**

### **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 http://www.mno.org.tr

### **MMO Adına Sahibi**

Publisher  
Ali Ekber ÇAKAR

### **Sorumlu Yazı İşleri Müdürü**

Executive Editor  
Yunus YENER

### **Yayın Sekreteri**

Editorial Secretary  
Aylin Sıla AYTEMİZ

### **Yayın Kurulu**

Editorial Board

Prof. Dr. Metin AKKÖK - *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*

Prof. Dr. Müfit GÜLGEÇ - *Çankaya Üniversitesi*

Prof. Dr. L. Berrin ERBAY - *Osmangazi Üniversitesi*

Prof. Dr. Cemal MERAN - *Pamukkale Üniversitesi*

Prof. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK - *Pamukkale Üniversitesi*

Prof. Dr. Semiha ÖZTUNA - *Trakya Üniversitesi*

Yrd. Doç. Dr. Nilay ALÜFTEKİN - *Çankaya Üniversitesi*

Yrd. Doç. Dr. Tolga TANER - *Aksaray Üniversitesi*

Yrd. Doç. Dr. Gurbet ÖRÇEN - *Dicle Üniversitesi*

### **Yayın Danışma Kurulu**

Editorial Advisory Board

Prof. Dr. C. Erdem İMRAK - *İstanbul Teknik Üniversitesi*

Prof. Dr. Erdiñ KALUÇ - *Kocaeli Üniversitesi*

Prof. Dr. İbrahim Deniz AKÇALI - *Akdeniz Üniversitesi*

Prof. Dr. Ali GÜNGÖR - *Ege Üniversitesi*

Prof. Dr. Mehmet KOPAÇ - *Bülent Ecevit Üniversitesi*

Prof. Dr. Hikmet RENDE - *Akdeniz Üniversitesi*

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI - *Yıldız Teknik Üniversitesi*

Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA - *Harran Üniversitesi*

Prof. Dr. İlhan KONUKSEVEN - *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*

Doç. Dr. Erol KILIÇKAP - *Dicle Üniversitesi*

Yrd. Doç. Dr. Nurdan BİLGİN - *Gazi Üniversitesi*

Dr. Varlık ÖZERCİYES - *TAI*

### **Redaksiyon**

Redaction  
Tarık ÖZBEK

### **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: (0312) 394 54 94

Basım Tarihi : 30 Ekim 2017

Baskı Sayısı (tiraj) : 3.000

# Mühendis ve Makina

*Engineer and Machinery*

**Cilt 58**  
Volume 58

**Sayı 689**  
Number 689

**Ekim-Aralık 2017**  
October-December 2017

## İÇİNDEKİLER/CONTENTS

- Türkiye’de Ekonomik Göstergeler - İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı** 1  
*Economic Indicators in Turkey – Capacity Utilization Rate of the Manufacturing Industry*  
Erdem KOÇ, Mahmut Can ŞENEL, Kadir KAYA
- Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi** 23  
*Investigation of Energy Efficiency and Emission Reduction Opportunities in Compressed Air Systems*  
Süleyman SAPMAZ, Durmuş KAYA
- Uçuş Prosedürleri İçin Yol Tanımlayıcıları** 37  
*Path Descriptors for Flight Procedures*  
Özlem ŞAHİN, Öznur USANMAZ
- Aracın Yalpa Karakteristiğinin Taşıt Dinamiğine Olan Etkisinin Analitik ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi** 49  
*Investigating the Effect of Vehicle Roll Characteristics to Vehicle Dynamics with Analytical and Numerical Methods*  
Enis GÖGEN, Emre SERT, Gürkan TUTU
- Sürekli Asitleme Hattının Mekanik Modellemesi** 63  
*Mechanical Modelling of a Continuous Pickling Line*  
Kaan ESENDAĞ, Serkan BİLGİN, İskender KAYABAŞI, Varlık KILIÇ, Can YILMAZ
- Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi** 81  
*Importance of Material Selection in Design of Electric Vehicles*  
Fatih GÜVEN, Hikmet RENDE

---

*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 <http://www.mmo.org.tr> web adresinden yararlanabilirsiniz. Telefon, faks ya da e-posta aracılığıyla da bize ulaşabilirsiniz.*

---

*Dergimiz*

**EBSCO**  
P U B L I S H I N G

*Veri tabanında yer almaktadır*

# SUNUŞ

*Değerli Meslektaşlarımız Merhaba,*

*Mühendis ve Makina dergimizde yer alan ilk makalemiz, **Erdem Koç, Mahmut Can Şenel ve Kadir Kaya**'nın “Türkiye’de Ekonomik Göstergeler - İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, kapasite kullanım oranının son yıllardaki durumu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.*

*İkinci makalemiz, **Süleyman Sapmaz ve Durmuş Kaya**'nın “Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, mevcut bir basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği değerlendirilmesi yapılırken incelenmesi gereken tüm yönler açıklanmaktadır. Bu yöntemler kompresör atık ısısından faydalanılması, basınçlı hava hatlarındaki sızıntıların önlenmesi, kompresör emiş havasının olabildiğince serin bir ortamdan alınması, kompresör motorunun daha verimli bir motor ile değiştirilmesi olarak tespit edilmiştir.*

*Üçüncü makalemiz, **Özlem Şahin ve Öznur Usanmaz**'ın “Uçuş Prosedürleri İçin Yol Tanımlayıcıları” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, saha seyrüsefer için kullanılan yol tanımlayıcıların bacak tipleri, kodlanması ve harita gösterimi örneklerle açıklanmıştır.*

*Dördüncü makalemiz, **Enis Gögen, Emre Sert ve Gürkan Tutu**'nun “Aracın Yalpa Karakteristiğinin Taşıt Dinamiğine Olan Etkisinin Analitik ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, bir midibüsün konfor özelliğini sağlayan ön ve arka aks dikey doğal frekansları farklı yay katsayıları için hesaplanmış, ön ve arka aks doğal frekanslarının birbirlerine olan oranları sabit tutularak aracın viraj dönme karakteristiği incelenmiştir.*

*Beşinci makalemiz, **Kaan Esendağ, Serkan Bilgin, İskender Kayabaşı, Varlık Kılıç ve Can Yılmaz**'ın “Sürekli Asitleme Hattının Mekanik Modellemesi” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, Borçelik Sürekli Asitleme Hattının mekanik modellemesi yapılmıştır. Çalışmada, Matlab yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle hattın tanıtımı yapıp özellikleri açıklanmış; bu açıklamalarda yer alan kural setleri, alt sistemler halinde modellenmiştir.*

*Altıncı makalemiz ise **Fatih Güven ve Hikmet Rende**'nin “Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi” başlıklı çalışmasıdır. Bu çalışmada, elektrikli araçların hafifletilmesi amacı ile kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.*

*Dergimize [www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina) adresinden ulaşabilir; makale, yazı, yeni ürün tanıtımları, reklam ve görüşleriniz ile destek olabilirsiniz.*

*Bir sonraki sayımızda buluşmak üzere esenlikler diliyoruz.*

**TMMOB Makina Mühendisleri Odası  
Yönetim Kurulu**

## PRESENTATION

*Esteemed Colleagues,*

*The first article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Economic Indicators in Turkey – Capacity Utilization Rate of the Manufacturing Industry” by **Erdem Koç, Mahmut Can Şenel and Kadir Kaya**. In the present study, the variation of the capacity utilization rate of Turkish Manufacturing Industry, being one of the economic indicators, has been examined comparatively considering the recent years data.*

*The second article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Investigation of Energy Efficiency and Emission Reduction Opportunities in Compressed Air Systems” by **Süleyman Sapmaz and Durmuş Kaya**. In this study, all aspects required to evaluate compressed air system energy efficiency are represented. Determined energy efficiency increasing methods are; application of waste heat recovery, leakage prevention, reducing compressor inlet air temperature, compressor outlet pressure reduction and use of high efficiency motors.*

*The third article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Path Descriptors for Flight Procedures” by **Özlem Şahin and Öznur Usanmaz**. In this study, path terminator leg types will be explained and path descriptor coding rules and charting will be presented.*

*The fourth article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Investigating the Effect of Vehicle Roll Characteristics to Vehicle Dynamics with Analytical and Numerical Methods” by **Enis Gögen, Emre Sert and Gürkan Tutu**. In this study, front and rear axle vertical ride frequencies of a midibus are calculated for different spring stiffness values, cornering characteristics of the vehicle is investigated by keeping the ratios of front and rear axle ride frequencies constant.*

*The fifth article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Mechanical Modelling of a Continuous Pickling Line” by **Kaan Esendağ, Serkan Bilgin, İskender Kayabaşı, Varlık Kılıç and Can Yılmaz**. In this study, mechanical modeling of Borçelik Continuous Pickling Line was made. Studies were made in Matlab software platform. First of all, process line was introduced and rule sets of the line were explained during introduction part. Then, these rule sets were modelled as subsystems.*

*The sixth article published in our Engineer and Machinery journal is the article named “Importance of Material Selection in Design of Electric Vehicles” by **Fatih Güven and Hikmet Rende**. In this study, lightweight materials and material selection process are investigated in order to lighten of EVs.*

*You can also view our journal on [www.mmo.org.tr/muhendismakina](http://www.mmo.org.tr/muhendismakina) and support us with your articles, papers, new product promotions, advertisements, and reviews.*

*Best regards, until our next issue...*

**UCTEA CHAMBER OF MECHANICAL ENGINEERS**  
**Board of Directors**

# Türkiye’de Ekonomik Göstergeler - İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı

Erdem Koç <sup>1</sup>

Mahmut Can Şenel <sup>\*2</sup>

Kadir Kaya <sup>3</sup>

## ÖZ

Sanayi, hammaddeleri işlenmiş hale getirmek için uygulanan eylemlerin ve bu eylemleri uygulamak için kullanılan araçların tümüdür. Sanayi tesislerinin kurulup gelişmesi çeşitli unsurlara bağlıdır. Bu unsurlar; sermaye, enerji, hammadde, ulaşım-pazarlama ve işgücüdür. Ülkelerin üretim faaliyetlerindeki değişimi gösteren sanayi üretim endeksi, ekonomik güven endeksi ve imalat sanayi kapasite kullanım oranı gibi göstergeler mevcuttur. Bu çalışmada, ekonomik göstergelerden biri olan ülkemiz imalat sanayi kapasite kullanım oranının son yıllardaki durumu karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekonomik göstergeler, üretim, imalat sanayi, kapasite kullanım oranı

## Economic Indicators in Turkey – Capacity Utilization Rate of the Manufacturing Industry

### ABSTRACT

Industry is the implementation of actions to make the processed raw materials and all of the tools used to perform these actions. The establishment and development of industrial facility depends on various elements. These elements are capital, energy, raw materials, transportation-marketing and labor. There are indicators such as industrial production index, economic confidence index and manufacturing industry capacity utilization rate, which show the change in production activities of countries. In the present study, the variation of the capacity utilization rate of Turkish Manufacturing Industry, being one of the economic indicators, has been examined comparatively considering the recent years data.

**Keywords:** Economic indicators, production, manufacturing industry, capacity utilization rate

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 22.12.2016

Kabul/Accepted : 09.05.2017

<sup>1</sup> Prof. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Müh. Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun - erdemkoc@omu.edu.tr

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun - mahmutcan.senel@omu.edu.tr

<sup>3</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fak., Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun - kadir.kaya@omu.edu.tr



## 1. GİRİŞ

Yeni teknolojileri uygulamadaki tavırları ve yasal durumları ne olursa olsun büyük, küçük ve orta ölçekli işletmelerin gerçekleştirildikleri her türlü iktisadi etkinlik sanayi olarak değerlendirilir [1]. Diğer bir ifadeyle sanayi, üretim faktörlerinden emek ve sermayeyi kullanarak, hammadde ve yarı mamul maddeleri işleyerek mamul madde haline dönüştüren tüm üretim faaliyetleridir [2].

Sanayi 18. yüzyılın ikinci yarısından önce İngiltere’de, daha sonra Batı Avrupa ülkeleri ve ABD’de gelişmiştir. Sanayinin gelişmesiyle el emeğinin yerini seri üretim yapan makinalar almış, kısa zamanda mal üretilmiştir. Üretilen bu malların pazarlanması yeni bir zenginleşme süreci başlatmıştır. Günümüzde sanayi, ülkelerin ekonomisini yönlendiren başlıca sektör haline gelmiştir. Sanayi, ülkelerin doğal kaynaklarının değerlendirilmesi, çok sayıda insana iş imkanı sağlaması, üretim kapalı mekanlarda yapıldığı için iklim şartlarından etkilenmemesi, üretilen ürünlerin uzun ömürlü olması ve pazarlamaya yönelik olması nedeniyle önemli imkanlar sunmaktadır [3]. Sanayi tesislerinin kurulup gelişmesi çeşitli koşullara bağlıdır. Bu unsurlar; sermaye, enerji, hammadde, ulaşım-pazarlama ve işgücü şeklindedir [4].

Üretim yapan bir işletmede üretim kapasitesi ve üretim planlamasının belirlenmesi işletmenin sürekliliği açısından son derece önem arz etmektedir. Üretim kapasitesi veya kapasite, genel olarak bir işletmenin belirli bir süre içerisinde mevcut üretim faktörlerini rasyonel bir biçimde kullanarak meydana getireceği üretim miktarıdır. Üretim kapasitesinin belirlenebilmesi için uzun dönemli talep tahminlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Gelecekte talebe ve üretim maliyetlerine ilişkin belirsizlik yaratan koşullar kapasite planlama faaliyetini güçleştirmektedir. Kapasite planlaması; mevcut kapasitenin değerlendirilmesi, gelecekteki kapasite düzeyinin tahmin edilmesi, kapasiteyi etkileyecek faktörlerin belirlenmesi ve işletme amaçlarına uygun kapasitenin seçilmesi gibi işlemlerden oluşmaktadır [5, 6].

Sanayi sektörünün durumunu gösteren, üretim faaliyetlerindeki artış ya da azalışın yıllar itibarıyla karşılaştırmalı olarak izlenmesini sağlayan sanayi üretim endeksi, ekonomik güven endeksi ve imalat sanayi kapasite kullanım oranı gibi göstergeler bulunmaktadır. Bu göstergelerden imalat sanayi kapasite kullanım oranı, imalat sanayi geneli ve alt sektörleri için işyerlerinin bildirdikleri fiziki kapasitelerine göre fiilen gerçekleşen kapasite kullanımlarını göstermektedir [2, 4].

Bu çalışmada, bahsedilen göstergelerden imalat sanayi kapasite kullanım oranı incelenmiş olup, Türk imalat sanayi ve alt sektörlerinin durumunu ortaya koyan temel göstergelerden olan bu parametrenin son yıllardaki değişimi detaylı olarak analiz edilmiştir.





## 2. KAPASİTE VE KAPASİTE PLANLAMASI

Bir işletmenin belirli bir süre içerisinde mevcut üretim faktörlerini rasyonel bir biçimde kullanarak meydana getireceği üretim miktarı Üretim Kapasitesi veya Kapasite olarak tanımlanmaktadır. Yaygın olarak kullanılan veya tanımlanan kapasite çeşitleri aşağıda verilmiştir [5-9].

- a) Teorik Kapasite: Makina veya diğer üretim araçlarının hiçbir duraklama yapmaksızın çalışmasıyla ve üretim sürecinde yetenekli işgücü kullanılmasıyla ulaşılabilecek maksimum üretim miktarı teorik kapasite olarak tanımlanmakta olup teknik projelerde gösterilen, hesaplama tespit edilen kapasitedir. Fizibilite çalışmalarında teorik kapasite dikkate alınmaktadır.
- b) Pratik Kapasite: Teorik kapasiteden çeşitli duraksamalar (arıza, elektrik kesilmesi, tamir, bakım, onarım, makina bozulması vb.) sonucunda meydana gelen kayıplar çıkarılarak bulunan kapasite pratik kapasite olarak tanımlanmaktadır.
- c) Fiili Kapasite: Belirli bir dönemde üretilen ürün veya sunulan hizmet miktarı fiili kapasitedir. Talepteki düşmeler, üretimdeki aksamalar gibi nedenlerle fiili kapasite, pratik kapasitenin altında olabileceği gibi, talebin mevsimlik dalgalanmalarına bağlı olarak değişen talep artışları nedeniyle pratik kapasitenin üzerinde de olabilmektedir.
- d) Planlanan Kapasite: Pazar koşulları ve diğer ekonomik faktörlerle birlikte işletme stratejilerine göre belirlenen, satış planlarına göre ölçülen kapasite türü planlanan kapasite olarak tanımlanır.
- e) Aylak Kapasite: Pratik kapasitenin ve teorik kapasitenin kullanılmayan kısmı genel olarak aylak kapasite olarak bilinir. Aylak kapasite, teorik kapasiteye ve pratik kapasiteye göre değerlendirilmekle birlikte, uygulamalarda genelde, pratik kapasiteye göre ele alınmaktadır.
- f) Zorlanmış Kapasite: Müşterilerin artan siparişlerini cevapsız bırakmamak için geçici olarak pratik kapasitenin üzerindeki çalışma düzeyi, zorlanmış kapasite olarak tanımlanır.
- g) Optimal Kapasite: Bir işletmeye minimum ortalama birim maliyetle çalışma imkanı yaratan yıllık üretim hacmi optimum veya optimal kapasite olarak tanımlanır. En iyi faaliyet noktası olarak da bilinen optimal kapasite noktasından sonra maliyetler artmaya başlamakta, bu üretim seviyesinin üstünde üretim hacmi yükseldikçe ortalama birim maliyetler de yükselmektedir.

Üretim sistemlerinde kapasite planlaması, işletmelerin belli bir zaman diliminde kul-



lanacakları kapasitelerini belirlemek için uygulanan önemli işlemlerdendir. Kapasite planlama; belirli bir sürede tamamlanması gereken işlerin değerlendirilmesini ve bunun başarılması için gerekli olan makina ve diğer fiziksel kaynakların belirlemesini içermektedir. Kapasite planlaması işlemleri mevcut kapasitelerin değerlendirilmesi, gelecekteki kapasite düzeyinin tahmin edilmesi, kapasiteyi etkileyecek faktörlerin belirlenmesi, kapasite alternatiflerinin finansal, ekonomik ve teknolojik yönden değerlendirilmesini, işletme amaçlarına uygun olan kapasitenin seçilmesi gibi faaliyetleri içermektedir [5, 6].

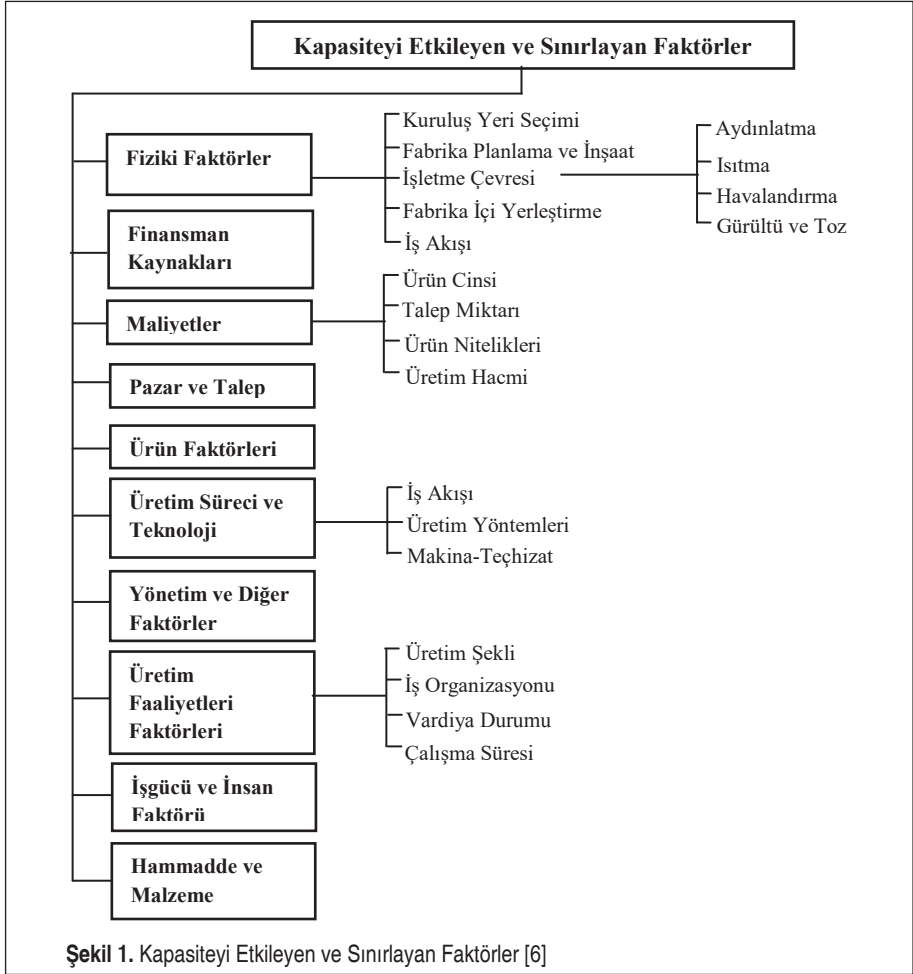
İşletmelerde kapasite planlaması yapılırken, makina kapasitesi ve insan gücü kapasitesi ayrı ayrı hesaplanarak değerlendirilir. Sermaye yoğun sanayi işletmelerinde makina kapasitesi öne çıkmaktadır. Emek yoğun sanayi işletmelerinde ise insan gücü kapasitesi makina kapasitesinden önce gelmekte olup makinalar, insan gücüne göre düzenlenmektedir.

**Makina Kapasitesi:** Üretim programları hazırlanırken, fabrikadaki makinelerin fiili ve maksimum kapasitelerinin bilinmesi gerekir. Bir makinanın maksimum kapasitesi; çalışma hızı, dayanıklılık, güvenilirlik gibi ölçülere bağlı olarak hesaplanabilir. Fiili makina kapasitesi genellikle maksimum makina kapasitesinin altında gerçekleşir.

**İnsan Gücü Kapasitesi:** Kapasite planlamasında insan gücü kapasitesinin hesaplanması özellikle emek yoğun sanayi işletmelerinde oldukça önemlidir. İşletme yöneticileri üretim faktörlerini mevcut insan gücünü dikkate alarak düzenlemektedirler. İşletmenin insan gücü planlaması, üretilen mal ve hizmete olan talep dikkate alınarak yapılmaktadır. Diğer faktörler talebe göre düzenlenmektedir. İşgücü planlaması, organizasyonun amacına ulaşabilmesi için her işe yeterli kabiliyete sahip uygun sayıda eleman temin etme çalışması olarak değerlendirilmektedir.

Kapasiteyi etkileyen ve sınırlayan faktörler ile kapasite planlaması ve kapasite seçiminde dikkate alınması gereken temel parametreler Şekil 1’de verilmiştir.

Kapasiteyi etkileyen faktörler, alınacak tedbirlerle kapasite miktarını veya üretim hacmini azaltıp çoğaltabilen faktörler olarak değerlendirilmektedir. İşletmenin fiziki varlıkları veya altyapısı ile ilgili faktörler (fabrika kuruluş yeri, planlama ve inşaatı, fabrika içi yerleşme ve işletme çevresi gibi faktörler) fiziki faktörler olarak değerlendirilir. Üretilmesi planlanan ürünün cinsi, talep miktarı, ürün nitelikleri gibi hususlar da üretim kapasitesinin artması veya azalmasına neden olmaktadır [8].



### 3. KAPASİTE KULLANIM ORANI

Üretim kapasitesi veya kapasite çeşitleri esas alınarak kapasite kullanım oranı değişik şekilde tanımlanabilmektedir. Bu oran; teorik kapasiteye, planlanan kapasiteye ve pratik kapasiteye göre değerlendirilmekte olup bu tanımlar aşağıda verilmiştir [5].

- Teorik kapasiteye göre kapasite kullanım oranı; teorik kapasitenin kullanılan kısmını ifade etmektedir. Fiili kapasitenin teorik kapasiteye oranı şeklinde hesaplanmakta olup bu oranın 1'e eşit olması söz konusu değildir.
- Pratik kapasiteye göre kapasite kullanım oranı; pratik kapasitenin kullanılan kısmını ifade etmektedir. Fiili kapasitenin pratik kapasiteye bölünmesiyle hesaplan-



maktadır. Bu oranın 1'e eşit olması aylak veya atıl kapasitenin bulunmadığının bir göstergesi olarak değerlendirilir. Bu oranın 1'den küçük olması, işletmede aylak kapasitenin bulunduğunu göstermektedir. Pratik kapasiteye göre belirlenen bu kapasite kullanım oranı çalışma derecesi olarak da bilinmektedir.

- Planlanan kapasiteye göre kapasite kullanım oranı; planlanan kapasitenin kullanılan kısmını ifade etmektedir. Fiili kapasitenin planlanan kapasiteye bölünmesiyle veya oranlanması ile hesaplanmaktadır.

Bir işletmede kullanılan kapasitenin yüksek olması hem üretim artışını hem de birim maliyetlerin düşük olması sonucunu doğurmaktadır. Mevsimsel talep artışları, fiyat yükselişleri vb. durumlarda da fiili kapasite pratik kapasitenin üstüne çıkarak teorik kapasiteye yaklaşmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi fiili kapasite ile pratik kapasite arasındaki oran işletmenin çalışma derecesini vermektedir. Çalışma derecesi 1'e eşit ise söz konusu işletmenin tam kapasite ile çalıştığı anlaşılır. Başka bir ifadeyle, işletmede kullanılmayan atıl veya aylak kapasitenin bulunmadığı anlamına gelmektedir. Bu oran 1'den küçükse işletmede eksik kapasite kullanımı söz konusu olup işletmenin rasyonel bir üretim faaliyetinde bulunmadığına işaret ettiği anlaşılmaktadır. Çok seyrek de olsa çalışma derecesinin 1'den büyük olması ise fiili kapasitenin pratik kapasitenin üstünde olduğunu veya teorik kapasiteye yaklaştığını göstermektedir. Bu nedenlerle çalışma derecesi, işletmenin kapasite kullanım oranının bir ölçüsü olarak değerlendirilmektedir [6, 9].

Kapasite Kullanım Oranı, bir işletme ya da ülke ölçeği esas alındığında toplam üretim kapasitesinin ne kadarlık kısmının kullanıldığını gösteren bir orandır. Kapasite Kullanım Oranında hesaplama, hizmet sektörü yerine fiziki üretimin gerçekleştirildiği, sanayi kesiminde en fazla ağırlığa sahip sektör olan imalat sanayi için yapılmaktadır. Bir üretim biriminin veya imalat sanayi kuruluşunun belirli bir dönemde fiilen gerçekleştirdiği üretim miktarının, fiziki olarak üretebileceği en yüksek miktara oranı İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı olarak tanımlanır [10, 11].

Ekonomide sorunlar varsa; genellikle şirketler, firmalar, belirlenmiş kapasitelerinin altında çalışacaklardır. Bundan dolayı daha az üretecekler, daha az satacaklar ve daha az kişiyi istihdam edeceklerdir. Kapasitenin tam olarak kullanılması öncelikle talep şartlarının iyi olmasına bağlıdır. Kişilerin gelirleri yeterli ve tatmin edici olursa mal ve hizmetlere olan talepleri artacaktır. Bu talep artışına cevap vermek durumunda olan üretim şirketleri veya firmalar doğal olarak üretim kapasitelerini artırma yoluna gideceklerdir [12].

İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası'nın (TCMB), sanayi sektöründe çalışan iş yerlerinde her ay uyguladığı İktisadi Yönelim Anketi (İYA) ile belirlenmektedir. Bu oran imalat sanayi geneli ve alt sektörleri için



hesaplanmakta olup, ankete katılan işyerlerinin bildirdikleri fiziki kapasite kullanımlarının (kapasite kullanım oranları) çalışan sayıları ve gerçekleştirilen üretim miktarları ile belirli oranlarda ağırlıklandırılması sonucu bulunmaktadır. İmalat sanayi kapasite kullanım oranı imalat sanayinde faaliyet gösteren 2613 işyerine gönderilen İktisadi Yönelim Anketi kapsamında 2059 katılımcıdan alınan yanıtların ağırlıklı olarak toplulaştırılması sonucu elde edilmiştir [13-15].

İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı (KKO) verileri, 1991-2009 yılları arasında, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından düzenlenen İmalat Sanayi Eğilim Anketi (İSEA) sonuçlarına dayalı olarak hazırlanıp yayımlanmıştır. Bu veriler, ilgili dönemin sanayi üretimi verilerinden önce açıklandığından, öncü gösterge niteliğinde olup yakından takip edilmektedir.

İktisadi Yönelim Anketi (İYA) ise 1987 yılından itibaren uygulanmakta olup, imalat sanayinde kısa dönemli eğilimleri yansıtan göstergeler üretmeyi hedefleyen eğilim anketidir. Başlangıçta ankette yer almayan kapasite kullanım oranı sorusu, 2007 yılında yapılan geliştirme çalışmaları sırasında ankete eklenmiştir.

2007 yılında TCMB ve TÜİK'in söz konusu eğilim anketlerinin benzer nitelikte sorular içermesi ve aynı hedef kitleye uygulanmasının yarattığı sakıncalar göz önüne alınarak, TÜİK tarafından aylık olarak yayımlanan İSEA kapsamındaki Kapasite Kullanım Oranı verileri 2010 yılı Ocak ayından itibaren, TCMB tarafından İYA sonuçlarına dayalı olarak üretilip yayımlanması konusunda mutabakat sağlanmıştır. Ayrıca İYA, 2007 yılı Mayıs ayından itibaren, Avrupa Birliği'nin "Uyumlaştırılmış İşyeri ve Tüketici Anketleri Ortak Programı" kapsamında Avrupa Birliği Komisyonu ve TCMB ortak finansmanı ile gerçekleştirilmektedir [15].

Kapasite Kullanım Oranı (KKO) hesaplanırken aşağıdaki nedenlerden dolayı imalat sanayi alt sektörleri esas alınmaktadır [10, 14, 16].

- Sanayi Üretim Endeksi hesaplamasına dahil edilen sanayi sektörlerinde, toplam üretim endeksi 2010 yılı referans endeksine göre, imalat sanayi sektörünün büyük bir çoğunluğa sahip olması (İmalat Sanayi %81.5, Madencilik ve Taş ocakçılığı %6.85, Elektrik, Gaz, Buhar ve İklimlendirme Üretimi ve Dağıtımı %12.44),
- İmalat Sanayi alt sektörleri, bütün sanayi sektörü üretiminin yaklaşık dörtte üçünü tek başına gerçekleştirmesi,
- İmalat sanayi üretiminin mevsim ve takvim etkilerinden daha az etkilenmesi.

Kapasite kullanım oranı hakkında ilave değerlendirmeler aşağıda verilmiştir [17-19].

- Kapasite Kullanım Oranı tek başına bir anlam taşımaktan çok sanayi üretiminin gidişatı hakkında bilgi vermekte olup, bu oranda artış eğilimi olması sanayi üre-



timinde artış olacağı; tersi ise sanayi üretiminde azalış olacağı anlamına gelmektedir.

- Kapasite Kullanım Oranı ayrıca sanayideki üretim düzeyinin bir yansıması olduğundan, talep ve yatırım düzeyleri ile ilgili bilgiler de sunmaktadır. Talebin kapasitenin üzerinde olması yeni yatırımlar ile kapasite kullanımının artırılması gerektiği anlamına gelmektedir.
- Kapasite kullanım oranının sürekli yüksek düzeyde seyretmesi o kadar da olumlu bir işaret olarak algılanmamaktadır. Böylesi bir durum, sanayide üretim kapasitesini artırmaya yönelik genişletme yatırımlarının geciktirildiğinin bir göstergesidir.
- Kapasite kullanım oranının %80-85 aralığında olması yüksek bir düzey olarak kabul edilmekte, %90 üzerinde olması ekonominin çok canlı olduğu anlamına gelmektedir. %70-80 aralığındaki kapasite kullanım oranı ise ülkede yeni yatırımlar yapılmaya bile gelişme potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir.
- Kapasite kullanım oranı revizyon ve toplu izin dönemlerinde, kış aylarında ve bayram tatillerinde doğal olarak daha düşük çıkmaktadır. İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı mevsim etkilerinden arındırılarak da hesaplanmaktadır. Özellikle çok sert geçen bir yılın kış mevsimindeki üretimle daha yumuşak geçen yılın kış mevsimindeki üretim karşılaştırıldığında bu arındırma bir anlam ifade etmektedir.
- Her üretim biriminin hiçbir sorun yaşanmayan bir ortamda kapasitesinin tamamı kadar üretim yapması teorik olarak mümkündür. Ne var ki gerçek yaşamda tatiller, enerji kesintileri, arızalar, bakım araları, grevler gibi birçok nedenle üretim aksar, o nedenle üretim birimleri kapasitelerini %100 olarak kullanamazlar.

Kapasite Kullanım Oranı (KKO); Kapasite Kullanım Oranı (KKO) ve Mevsim Etkilerinden Arındırılmış Kapasite Kullanım Oranı (KKO-MA) olmak üzere iki farklı şekilde aylık olarak yayımlanmaktadır. Kapasite kullanım oranı, imalat sanayindeki kapasite kullanımını göstermektedir. Mevsim Etkilerinden Arındırılmış Kapasite Kullanım Oranı ise imalat sanayindeki kapasite kullanım oranının mevsimlere özgü artış veya azalış ile aylık iş günü sayısının değişiminden kaynaklanan dalgalanmaların giderilmesini sağlamaktadır. Mevsim Etkisinden Arındırma, sert geçen bir yılın kış mevsimindeki üretimle daha yumuşak geçen bir önceki yılın kış mevsimindeki üretimlerin karşılaştırılması yapılırken anlam ifade etmektedir [10, 13, 16].

#### 4. GENEL DEĞERLENDİRME

Kapasite kullanımının değerlendirilmesinde gerçekçi sonuçlara erişilmesi için bir aya ait değerler yerine kayıt altına alınmış son 5-6 aydaki değişimlerin incelenmesi daha doğru olacaktır. 2007-2017 yılları arasında Türkiye'deki Kapasite Kullanım Oranı



(KKO) ve Mevsim Etkilerinden Arındırılmış Kapasite Kullanım Oranının (KKO-MA) aylık bazdaki değişimi Tablo 1’de verilmiştir. Tabloda yıllar bazında ortalama kapasite kullanım oranları yer almaktadır. 2017 yılında erişilen en son değer nisan ayına ait olup yıllık ortalama hesaplanırken 2017 yılı ilk 4 ayındaki değerler hesaba katılmıştır. Kapasite Kullanım Oranı ve Mevsim Etkilerinden Arındırılmış Kapasite Kullanım Oranlarının, en yüksek değerlerini 2007 yılında; en düşük değerlerini ise 2009 yılında aldığı görülmektedir. Bu değişimin 2008 yılında ABD’de başlayan ve giderek tüm dünya ülkelerine yayılan ekonomik kriz (küresel kriz) sonucunda gerçekleşmiş olduğu düşünülmektedir.

**Tablo 1.** Türkiye’de İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı (KKO) Değişimi [20]

Yıllar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ort.	
KKO (%)	2007	80.4	78.7	81.0	82.1	82.8	83.8	84.1	81.8	82.9	83.0	82.5	80.7	82.0
	2008	79.9	79.3	78.2	80.1	80.8	82.2	81.6	81.9	79.6	77.9	74.0	66.7	78.5
	2009	62.6	62.2	60.8	61.2	65.7	70.4	69.8	71.5	69.4	69.5	70.8	68.8	66.9
	2010	68.7	68.0	68.0	74.8	75.1	75.0	75.8	75.0	75.2	76.3	76.8	76.7	73.8
	2011	75.8	74.8	74.9	76.5	77.1	78.8	77.3	77.7	77.8	78.1	78.2	76.8	77.0
	2012	75.7	74.1	74.6	77.6	76.7	76.4	77.1	77.0	77.0	77.5	77.1	76.7	76.5
	2013	75.0	73.5	74.2	75.0	76.6	77.5	78.1	78.9	77.8	78.6	77.5	78.0	76.7
	2014	75.6	73.8	74.5	75.1	74.7	75.6	74.9	74.9	75.1	75.4	75.1	75.5	75.0
	2015	74.4	74.1	74.0	76.8	77.5	77.6	78.5	76.8	78.1	77.6	78.4	78.1	76.8
	2016	77.2	76.0	76.2	77.0	77.7	78.0	77.8	76.3	78.1	77.9	78.0	78.1	77.4
	2017	77.0	76.8	76.7	78.4									77.2
KKO – MA (%)	2007	81.2	80.3	82.8	82.7	82.9	83.3	83.1	80.6	81.8	81.9	81.8	80.8	81.9
	2008	80.9	81.1	80.3	80.8	80.9	81.5	80.7	80.5	78.5	76.6	73.3	66.8	78.5
	2009	63.6	64.0	63.0	62.0	65.8	69.9	69.0	70.3	68.7	68.6	70.1	68.8	67.0
	2010	69.4	69.5	69.7	75.2	75.1	74.5	75.2	74.4	74.8	75.2	76.0	76.3	73.8
	2011	76.3	75.9	76.3	77.2	77.3	78.3	76.7	77.1	77.4	77.3	77.4	76.5	77.0
	2012	76.3	75.3	76.0	78.2	76.8	75.9	76.4	76.2	76.5	76.7	76.5	76.4	76.4
	2013	75.7	74.6	75.7	75.6	76.8	77.1	77.4	78.2	77.3	77.7	76.7	77.7	76.7
	2014	76.1	74.9	75.9	75.6	74.9	75.2	74.4	74.5	74.7	74.6	74.4	75.2	75.0
	2015	74.7	75.2	75.4	77.3	77.5	77.4	78.0	76.5	77.6	76.9	77.7	77.9	76.8
	2016	77.5	77.1	77.6	77.4	77.6	77.6	77.3	76.0	77.6	77.5	77.5	78.0	77.4
	2017	77.4	77.7	77.9	78.8									78.0

KKO: İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı

KKO-MA: Mevsim Etkilerinden Arındırılmış İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı

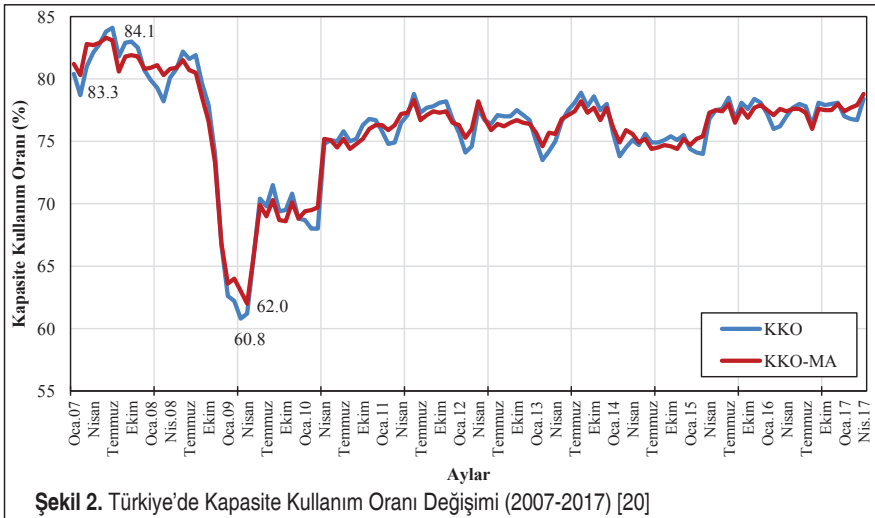
2017 yılında KKO en düşük değerini %76.8 olarak şubat ayında, en yüksek değerini ise %78.4 olarak nisan ayında almıştır. KKO-MA değerleri incelendiğinde, 2017 yılında en düşük değerini %77.4 olarak ocak ayında ve en yüksek değerini ise %78.8 olarak nisan ayında aldığı görülmektedir. KKO ve KKO-MA en yüksek değerlerini 2007 yılında sırasıyla temmuz (%84.1) ve haziran (%83.3) aylarında almıştır.

Tabloda verilen aylık değerler dikkate alınarak Ocak 2007-Nisan 2017 arasında hem KKO hem de KKO-MA değişimleri incelenmiştir (Şekil 2). En yüksek KKO ve KKO-MA değerleri sırasıyla %84.1 ve %83.3 ile Temmuz 2007 ve Haziran 2007’de gözlenmiştir. En düşük değerler ise sırasıyla %60.8 ve %62.0 ile Mart 2009 ve Nisan 2009 aylarında gözlenmiştir.

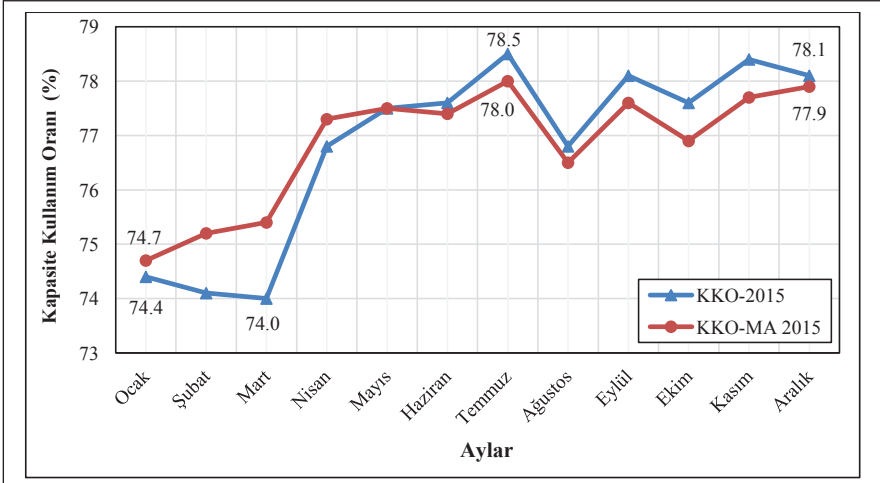
2015 yılında her iki Kapasite Kullanım Oranının değişimi karşılaştırma amacıyla Şekil 3’ten incelenebilir. KKO’nun en yüksek değeri Temmuz 2015’te %78.5 olarak kaydedilmiş ve en küçük KKO değeri ise %74.0 ile Mart 2015’te gözlenmiştir.

2015 yılı Mayıs ayına kadar KKO-MA değeri KKO değerinden yüksek iken, Mayıs 2015’ten itibaren bütün aylarda KKO-MA değerinin KKO değerinden daha düşük seviyede seyrettiği de şekilden görülmektedir. Bütün bu değerler dikkate alındığında İmalat Sanayi veya Reel Kesim için bu Kapasite Kullanım Oranlarının düşük olduğu söylenebilmektedir.

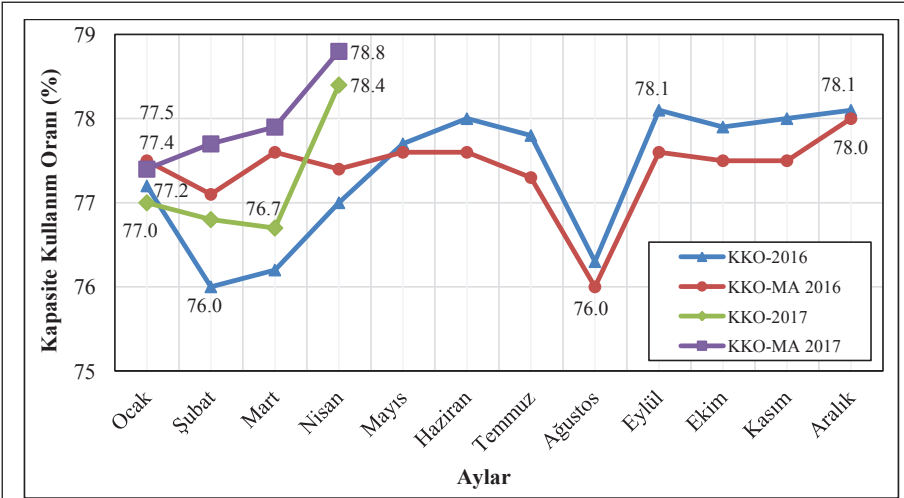
2016 yılının tüm aylarında ve 2017 yılının ilk dört ayında her iki Kapasite Kullanım Oranının değişimi karşılaştırma amacıyla Şekil 4’ten izlenebilmektedir. En yüksek KKO değeri Nisan 2017’de %78.4 olarak kaydedilmiş, en küçük KKO değeri ise %76 ile Şubat 2016’da gözlenmiştir.





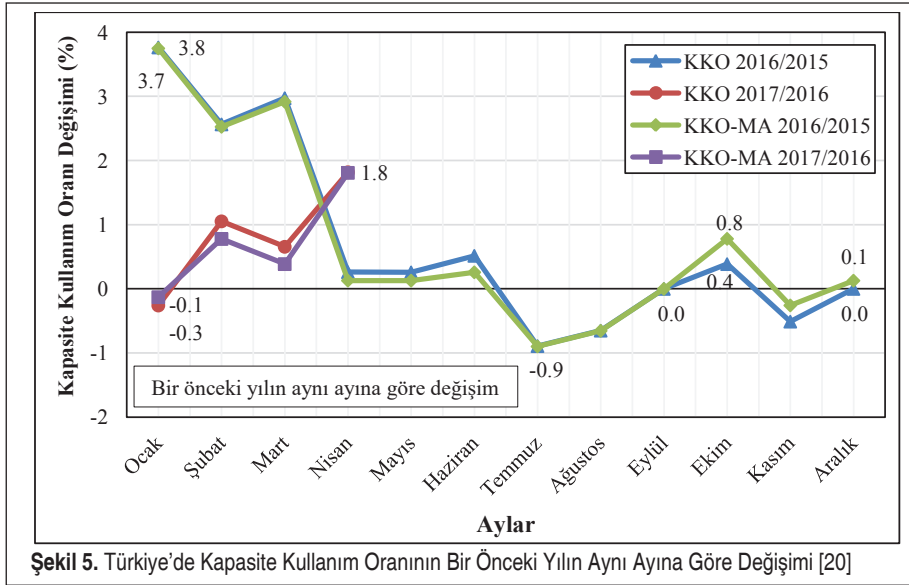


Şekil 3. Türkiye’de Kapasite Kullanım Oranı Değişimi (2015) [20]



Şekil 4. Türkiye’de Kapasite Kullanım Oranı Değişimi (2016) [20]

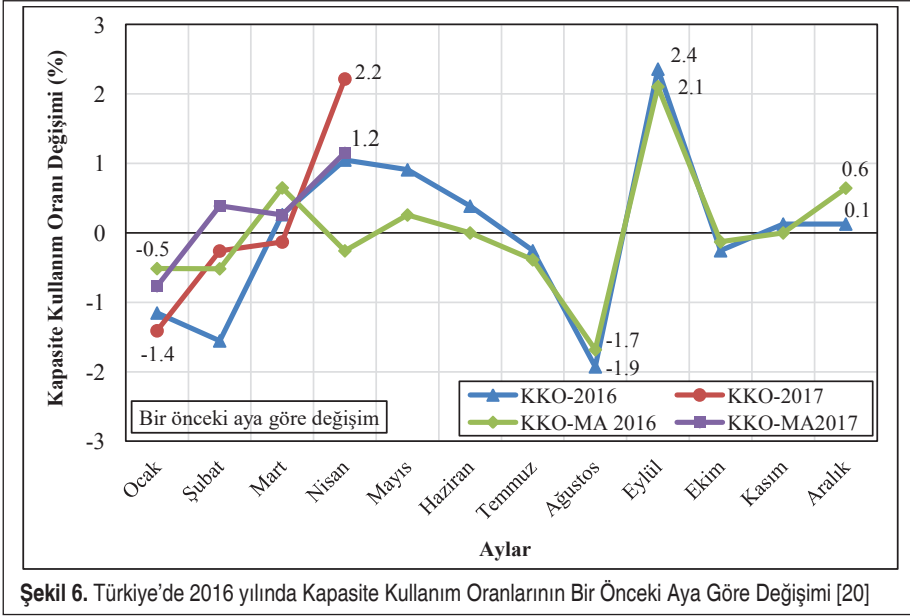
Türkiye’de KKO ve KKO-MA’nın bir önceki yılın aynı ayına göre aylık % değişimleri Şekil 5’te verilmiştir. Bir önceki yılın aynı ayına göre KKO ve KKO-MA’da en büyük artış 2016 yılı Ocak ayında (KKO değişimi %3.8 ve KKO-MA değişimi %3.7) ve en büyük azalış ise 2016 yılı Temmuz ayında (KKO değişimi % -0.9 ve KKO-MA değişimi %-0.9) gerçekleşmiştir. Şekil 3 ve 4’te KKO esas alınarak Nisan 2016’da %77 olan oranın, Nisan 2017’de %1.8 artışla %78.4’e yükseldiği şekilden izlenebilmektedir. Benzer şekilde, Şekil 3 ve 4’te KKO-MA esas alınarak Nisan 2016’da %77.4 olan oranın, Nisan 2017’de %1.8 artışla %78.8’e yükseldiği de şekilden görülebilmektedir.



Türkiye’de 2016 yılı tüm aylarındaki ve 2017 yılı ilk dört ayındaki KKO ve KKO-MA verilerinin aynı yıl için bir önceki aya göre değişimi Şekil 6’da verilmiştir. KKO ve KKO-MA’da en büyük artış eylül ayında (KKO değişimi %2.4 ve KKO-MA değişimi %2.1) ve en büyük azalış ise ağustos ayında (KKO değişimi %- 1.9 ve KKO-MA değişimi %-1.7) gerçekleşmiştir. KKO esas alındığında Mart 2017’de %76.7 olan oranın, Nisan 2017’de %2.2 artışla %78.4’e yükseldiği de şekilden izlenebilmektedir. KKO ve KKO-MA verilerinde 2016 yılı Temmuz ve Ağustos aylarında yaşanan ani düşüş 15 Temmuz’da gerçekleşen darbe teşebbüsünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı Nace Rev.2 kodlama sistemine göre Ana Sermaye Grupları ve Alt Sektör veya Meslek Grupları için de belirlenmekte olup bu gruplara dahil olan birimler veya bileşenler; dayanıklı tüketim malları, dayanıksız tüketim malları, tüketim malları, gıda ve içecekler, ara malları ve yatırım malları şeklindedir.

Alt Sektör veya Meslek Grupları; gıda ürünlerinin imalatı, içeceklerin imalatı, tütün ürünleri imalatı, tekstil ürünlerinin imalatı, giyim eşyalarının imalatı, deri ve ilgili ürünlerin imalatı, ağaç, ağaç ürünleri ve mantar ürünleri imalatı, kağıt ve kağıt ürünlerinin imalatı, kok kömürü ve rafine edilmiş petrol ürünleri imalatı, kimyasalların ve kimyasal ürünlerin imalatı, temel eczacılık ürünlerinin ve eczacılığa ilişkin malzemelerin imalatı, kauçuk ve plastik ürünlerin imalatı, ana metal sanayi, fabrikasyon metal ürünleri imalatı, bilgisayarların, elektrikli teçhizat imalatı, motorlu kara taşıtı, mobilya imalatı, makina ve ekipmanların kurulumu şeklindedir.



Şekil 6. Türkiye'de 2016 yılında Kapasite Kullanım Oranlarının Bir Önceki Aya Göre Değişimi [20]

Yukarıda detaylı verilen işyerlerine anket uygulanmakta olup, İktisadi Yönelim Anketi (İYA) kapsamında ankete katılan işyerlerinden fiziki kapasitelerinin ne kadarlık kısmının değerlendirildiğini gösteren Kapasite Kullanım Oranları yüzde olarak alınmakta ve bu değerlerin ağırlıklı ortalaması alınarak Toplam İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı, Ana Sermaye Grupları Kapasite Kullanım Oranları ve Alt Sektörler ve Meslek Grupları Kapasite Kullanım Oranları belirlenmektedir.

Ağırlıklandırma işlemi dikkate alınan hususlar:

- İşyerlerinin bir önceki yıldaki ortalama çalışan sayıları,
- Üretim değeri ağırlıkları,
- Katma değer payları

şeklindedir. Ağırlıklandırmada kullanılan Üretim Değeri Ağırlıkları, bir önceki yıl sanayi üretim endeksinin hesaplanmasında kullanılan işyerlerinden derlenen üretim bilgileri kullanılarak hesaplanmaktadır. Katma Değer, bir ürüne işleme yoluyla katılan, verilen bir emek ile eklenen değer veya üretimin her aşamasında, mal ve hizmetin çıktı fiyatı ile girdi fiyatı arasındaki fark olarak tanımlanmaktadır. Başka bir ifadeyle, bir ürünün (mal veya hizmet) satış fiyatından, o ürünü meydana getirmek için başkalarından satın alınan şeylerin bedeli düşüldükten sonra kalan miktardır. Bir ürün elde edilinceye kadar yapılan AR-GE harcamaları ve bu ürün piyasaya sürüldükten sonra ürünü geliştirmek veya bu üründeki bir aksaklığı gidermek için yapılan harcamalar



da Katma Değer olarak bilinmektedir. Katma Değer Payı, bir Ana Sermaye Grubu veya Meslek Grubunun gerçekleştirdiği üretim ile ilgili bir katsayıdır. Bu katsayı ilgili meslek grubunun, bir önceki yıl imalat sanayi üretim endeksi değişim oranları dikkate alınarak belirlenmektedir. Kullanılan ağırlıklar en son yayımlanan Katma Değer verileri ile önceki yıla ilişkin yıllık Sanayi Üretim Endeksi verileri kullanılarak yılda bir kez güncellenmektedir [13, 21-23].

Ana Sermaye Grupları için 2016 yılı ve 2017 yılı ilk dört ayındaki Kapasite Kullanım Oranları Tablo 2’de verilmiştir. Tabloda ayrıca, söz konusu yıllardaki kapasite kullanım oranlarının ortalaması da verilmiş olup, 2017 yılı ortalaması belirlenirken açıklanan son oran nisan ayına ait olduğundan 2017 yılı ortalaması ilgili yılın ilk 4 (dört) ayının ortalaması alınarak belirlenmiştir. Tabloda yer alan Toplam İmalat, önceden detaylı izah edilen veya ele alınan değerlerle örtüşmektedir.

Ana Sermaye Gruplarına göre KKO’lar değerlendirildiğinde, Nisan 2017’de bir önceki aya göre tüm ana sermaye gruplarına göre KKO’nun arttığı gözlemlenmiştir. Nisan 2017’de Yatırım Malları (%84.3) ve Ara Malları Ana Sermaye Grupları (%79) KKO’sunun en yüksek seviyede olduğu belirlenmiştir. Belirlenen aylardaki KKO’lar incelendiğinde, söz konusu değerlerin %70-80 civarında olduğu, yani sanayide kapasitenin tam olarak kullanılmadığı görülmektedir.

İmalat Sanayi KKO, Toplam İmalat KKO olarak da bilinmektedir. Toplam İmalat KKO’sunun 2016 yılı tüm aylarındaki ve 2017 yılı ilk dört ayındaki değişimi Şekil 7’de verilmiştir. Şekilden, ocak ayı hariç diğer tüm aylarda 2017 yılı KKO değerlerinin 2016 yılı değerlerinden yüksek olduğu, yani 2017 yılında Ocak ayı hariç bütün aylarda Toplam İmalat KKO’sunun bir önceki yılın aynı ayından daha yüksek seviyede olduğu görülmektedir. 2016 ve 2017 yılı tüm ayları için Toplam İmalat KKO’su değerlendirildiğinde, Nisan 2017’de %78.4 ile en yüksek seviyeye çıktığı belirlenmiştir. Nisan 2017’de gözlemlenen Toplam İmalat KKO’daki yükseliş; döviz kurundaki düşüşten, imalat sanayideki üretim artışından ve referandum sonrası siyasi belirsizliğin ortadan kalkmasından kaynaklanmaktadır.

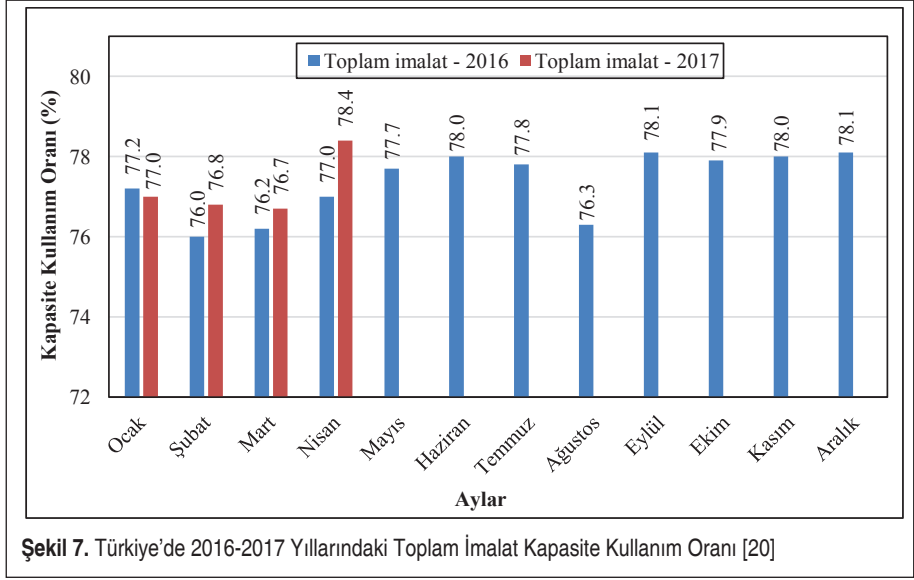
Merkez Bankası (MB) tarafından yapılan değerlendirmelerde Dayanıklı Tüketim Malları, Dayanaksız Tüketim Malları ve Tüketim Malları Ana Sermaye Grupları birlikte değerlendirildiğinden, söz konusu Ana Sermaye Gruplarının birbiriyle ilişkisi olduğu düşüncesiyle bu gruplar birlikte değerlendirilmiştir.

Dayanıklı Tüketim Malları, Dayanaksız Tüketim Malları ve Tüketim Malları Ana Sermaye Gruplarına ait KKO’ların Ocak 2016 ile Nisan 2017 aralığındaki değişimi Şekil 8’de verilmiştir. Dayanıklı Tüketim Malları Ana Sermaye Grubu KKO’sunun Ekim 2016’da en yüksek (%80.2); Ocak 2017’de ise en düşük (%70.1) seviyede olduğu, Dayanaksız Tüketim Malları Ana Sermaye Grubu KKO’sunun Eylül 2016’da en yüksek



Tablo 2. Ana Sermaye Grupları İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranları (%) [20]

	Yıllar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ortalama
<b>Toplam İmalat</b>	2016	77.2	76.0	76.2	77.0	77.7	78.0	77.8	76.3	78.1	77.9	78.0	78.1	77.4
	2017	77.0	76.8	76.7	78.4									77.2
<b>Dayanıklı Tüketim Malları</b>	2016	75.2	71.7	71.8	72.6	72.7	73.3	75.7	75.6	78.1	80.2	78.2	75.0	75.0
	2017	70.1	71.4	73.7	76.3									72.9
<b>Dayanısız Tüketim Malları</b>	2016	73.3	71.9	71.8	72.8	73.4	72.8	72.9	71.1	73.9	72.1	72.7	73.2	72.7
	2017	72.6	72.5	71.5	72.2									72.2
<b>Tüketim Malları</b>	2016	73.6	71.9	71.8	72.7	73.3	72.9	73.4	71.9	74.7	73.5	73.7	73.5	73.1
	2017	72.2	72.3	71.9	72.9									72.3
<b>Gıda ve İçecekler</b>	2016	72.6	71.3	70.8	71.8	72.4	71.6	72.0	69.7	73.3	71.7	72.5	72.8	71.9
	2017	72.5	71.8	70.1	70.6									71.3
<b>Ara Malları</b>	2016	76.3	75.8	76.5	77.2	78.4	78.6	77.3	76.4	78.2	78.0	78.0	77.8	77.4
	2017	76.5	76.5	77.2	79.0									77.3
<b>Yatırım Malları</b>	2016	79.7	77.4	79.7	81.2	81.3	81.5	82.5	79.2	80.2	81.4	81.2	82.8	80.7
	2017	82.0	81.0	81.1	84.3									82.1

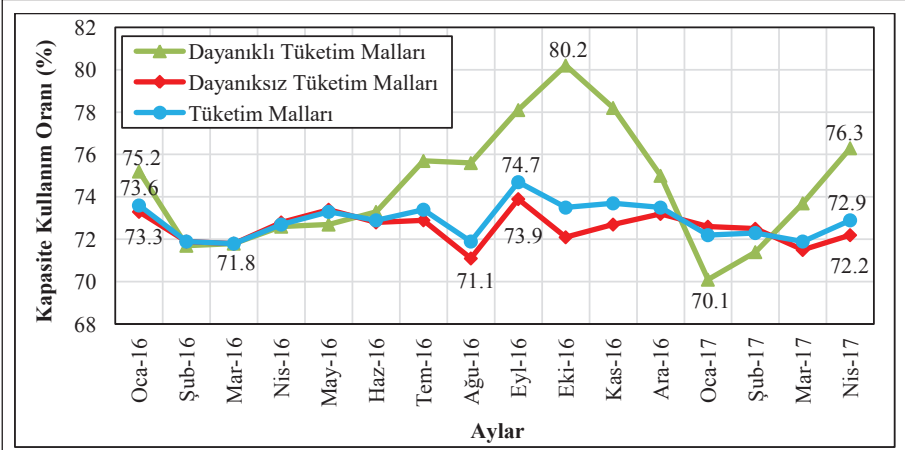


Şekil 7. Türkiye’de 2016-2017 Yıllarındaki Toplam İmalat Kapasite Kullanım Oranı [20]

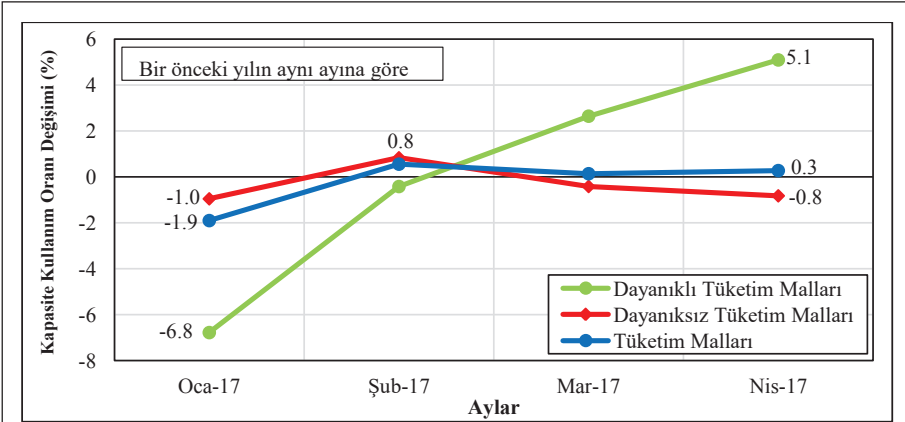
(%73.9) ve Ağustos 2016’da ise en düşük (%71.1) seviyede olduğu, Tüketim Malları Ana Sermaye Grubu KKO’sunun Eylül 2016’da en yüksek (%74.7) ve Mart 2016’da ise en düşük (%71.8) seviyede olduğu tespit edilmiştir. Ağustos 2016’da Ana Sermaye Grupları KKO’sundaki düşüş darbe teşebbüsünden; Mart ve Nisan 2017’deki artış ise döviz kurundaki düşüşten ve imalat sanayindeki üretim artışından kaynaklanmaktadır.

2017 yılı ilk dört ayında Ana Sermaye Grupları KKO’sunun bir önceki yılın aynı ayına göre yüzde değişimi karşılaştırma amacıyla Şekil 9’da verilmiştir. Dayanıklı Tüketim Malları, Dayanaksız Tüketim Malları ve Tüketim Malları Ana Sermaye Gruplarındaki en büyük artışların sırasıyla %5.1 (Nisan 2017), %0.8 ve %0.6 (Şubat 2017) olduğu; en büyük azalışların ise benzer şekilde sırasıyla %-6.8 ve %-1.0 ve %-1.9 (Ocak 2017) olduğu belirlenmiştir. Şekil 8’deki Dayanıklı Tüketim Malları Kapasite Kullanım Oranları esas alınarak Nisan 2016’da %72.6 olan oranın, Nisan 2017’de %5.1 artışla %76.3’e yükseldiği görülmektedir. Dayanıklı Tüketim Malları KKO değerinin Ocak 2017’de bir önceki yılın aynı ayına göre %-6.8 oranında azalmıştır. Mart ve Nisan 2017’de Dayanıklı Tüketim Malları KKO’daki ani yükseliş, beyaz eşya ve mobilya sektöründeki ÖTV indiriminden kaynaklanmaktadır.

Türkiye’de Ana Sermaye Grupları KKO’sunun bir önceki aya göre yüzde değişimleri Şekil 10’da verilmiştir. Dayanıklı Tüketim Malları, Dayanaksız Tüketim Malları ve Tüketim Malları Ana Sermaye Grupları KKO’larında en büyük artışların sırasıyla %3.5 (Nisan 2017), %3.9 ve %3.9 (Eylül 2016) olduğu; en büyük azalışların ise benzer şekilde sırasıyla %-6.5 (Ocak 2017), %-2.5 (Ağustos 2016) ve %-2.3 (Şubat



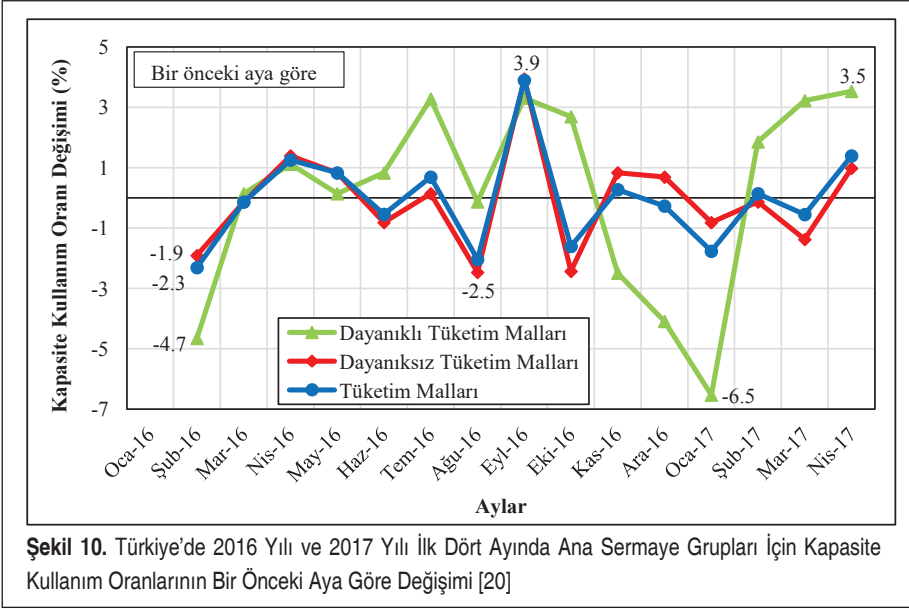
Şekil 8. Türkiye'de 2016-2017 Yıllarında Ana Sermaye Grupları İçin İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranları [20]



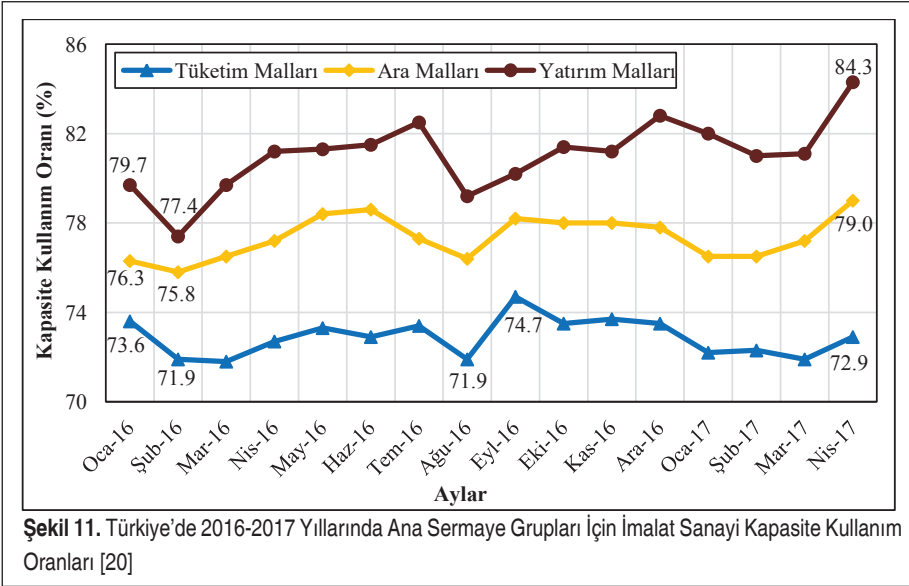
Şekil 9. Türkiye'de 2017 Yılı İlk Dört Ayında Ana Sermaye Grupları İçin Kapasite Kullanım Oranlarının Bir Önceki Yılın Aynı Ayına Göre Değişimi [20]

2016) şeklinde olduğu görülmektedir. Şekil 8 ve Şekil 10 birlikte değerlendirildiğinde, Dayanıklı Tüketim Malları KKO'sunun Mart 2017'de %73.7 olan değerinin, Nisan 2017'de %3.5 artışla %76.3'e yükseldiği izlenebilmektedir. Nisan 2017'de ülkemizde referandum sonrası siyasi belirsizliğin ortadan kalkmasıyla tüm Ana Sermaye Gruplarında KKO değerlerinin arttığı tespit edilmiştir.

Tüketim Malları, Ara Malları ve Yatırım Malları Ana Sermaye Gruplarına ait KKO'ların Ocak 2016-Nisan 2017 aralığındaki değişimi Şekil 11'de verilmiştir. Ara Malları Ana Sermaye Grubu KKO Nisan 2017'de en yüksek (%79.0) ve Şubat



Şekil 10. Türkiye'de 2016 Yılı ve 2017 Yılı İlk Dört Ayında Ana Sermaye Grupları İçin Kapasite Kullanım Oranlarının Bir Önceki Aya Göre Değişimi [20]



Şekil 11. Türkiye'de 2016-2017 Yıllarında Ana Sermaye Grupları İçin İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranları [20]

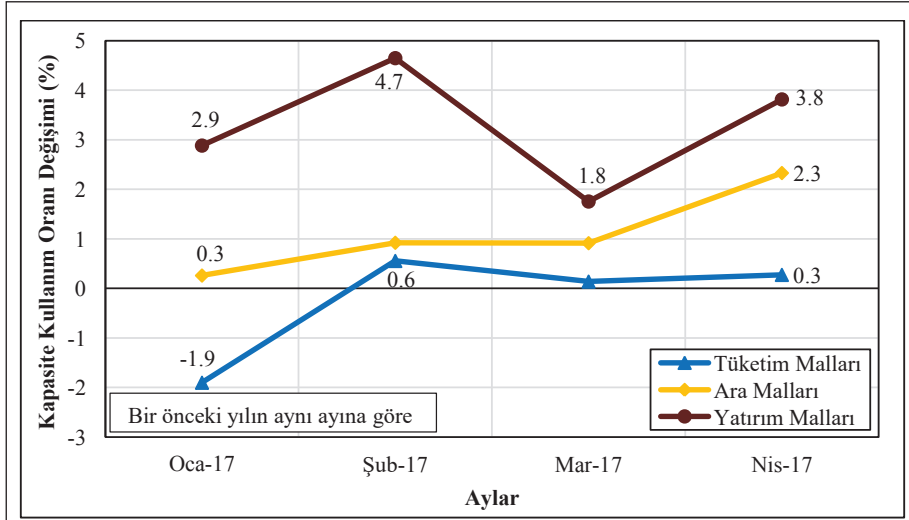
2016'da ise en düşük (%75.8) seviyede olduğu, Yatırım Malları Ana Sermaye Grubu KKO Nisan 2017'de en yüksek (%84.3) ve Şubat 2016'da ise en düşük (%77.4) seviyede olduğu tespit edilmiştir.

2017 yılının ilk dört ayı için Ana Sermaye Grupları KKO'larının bir önceki yılın aynı

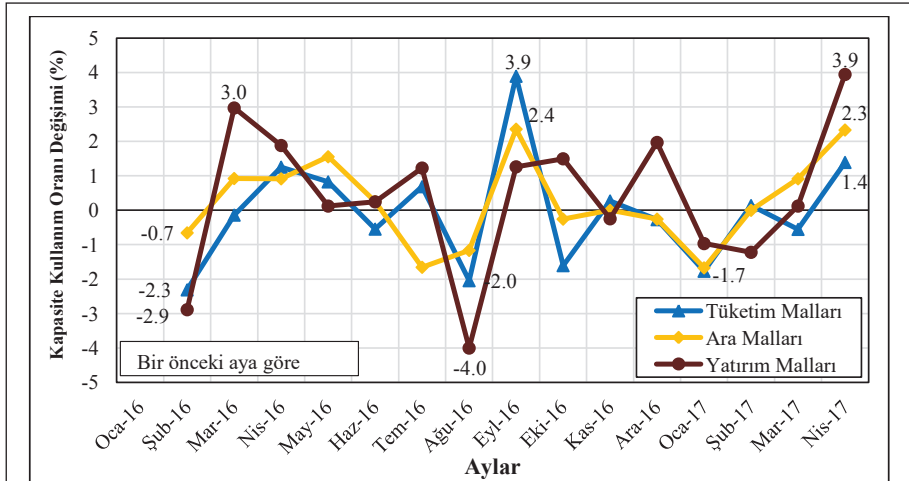




ayına göre değişimi karşılaştırma amacıyla Şekil 12'de verilmiştir. Tüketim Malları, Ara Malları ve Yatırım Malları Ana Sermaye Grupları KKO'larındaki en büyük artışların sırasıyla %0.6 (Şubat 2017), %2.3 (Nisan 2017) ve %4.7 (Şubat 2017) olduğu; bu süreçte tek azalış ise %-1.9 (Ocak 2017) ile Tüketim Malları Ana Sermaye Grubunda gerçekleşmiştir.



Şekil 12. Türkiye'de 2017 Yılı İlk Dört Ayında Ana Sermaye Grupları İçin Kapasite Kullanım Oranlarının Bir Önceki Yılın Aynı Ayına Göre Değişimi [20]



Şekil 13. Türkiye'de 2016 Yılı ve 2017 Yılı İlk Dört Ayında Ana Sermaye Grupları İçin Kapasite Kullanım Oranlarının Bir Önceki Aya Göre Değişimi [20]



Türkiye’de Ana Sermaye Grupları KKO’larının bir önceki aya göre değişimleri Şekil 13’te verilmiştir. Tüketim Malları, Ara Malları ve Yatırım Malları Ana Sermaye Grupları KKO’larında en büyük artışların sırasıyla %3.9 (Eylül 2016), %2.4 (Eylül 2016) ve %3.9 (Nisan 2017) olduğu; en büyük azalışların ise benzer şekilde sırasıyla %-2.3 (Şubat 2016), %-1.7 (Temmuz 2016, Ocak 2017) ve %-4.0 (Ağustos 2016) şeklinde olduğu görülmektedir. Nisan 2017’de Yatırım Malları KKO’sunun %72.9 olan değerinin Mart 2017’ye göre %3.9 oranında arttığı belirlenmiştir.

## 5. SONUÇ

Türkiye’de imalat sanayinde son beş yılda ortalama kapasite kullanım oranı %75 olup bu oranın düşük bir oran olduğu açıktır. Üretimde enerji kesintileri, makina arızaları, makina ve tesisatın bakım aralıkları, tatiller, grevler, çalışma saatinde aksamalar, işçi sorunları genel olarak kapasiteyi düşürmektedir. Yaklaşık %90 kapasite tam kapasite olarak kabul edilebilir. Bu durum, imalat sanayinde 90 birim yerine 75 birim mal üretiliyor olduğundan maliyetlerin arttığını göstermektedir.

Üretimde maliyetlerin yüksekliği, imalat sanayi kapasite kullanım oranının istenilen seviyelere (%90) ulaşılmasına engel olmaktadır. Üretim maliyetlerindeki bu yükseklik; ulaşım ve altyapı yetersizliği sebebiyle taşıma maliyetlerinin payının yüksek olması, vasıflı işgücü sıkıntısı çekilmesi, istihdam üzerindeki vergi ve prim yüklerinin yüksekliği, elektrik, doğalgaz, akaryakıt girdi fiyatları ile bu girdiler üzerinden alınan KDV ve ÖTV oranlarının yüksekliğinden kaynaklanmaktadır. Şubat 2017’de beyaz eşya ve mobilya sektöründeki ÖTV indiriminin olumlu etkileri Dayanıklı Tüketim Malları ve Toplam İmalat Sanayi KKO verilerinden görülebilmektedir. Nisan 2017’de Tüketim Malları KKO %72.9, Ara Malları KKO %79 ve Yatırım Malları KKO %84.3 olmuştur. Bu sebeple, maliyetlerin yükselmesine sebep olan KDV ve ÖTV gibi vergiler birçok sektörde (otomotiv, bilişim, elektronik v.b.) düşürülerek üretimin ve dolayısıyla imalat sanayi kapasite kullanım oranının %80-85 seviyelerine yükseltilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

1. İleilgili.org. “Sanayi nedir,” <http://nedir.ileilgili.org/sanayi-nedirnedemek-ileilgili-bilgiler.html>, son erişim tarihi: 14.06.2016.
2. Koç, E. 2001. “Türkiye’de Sanayileşme ve Sosyo-Ekonomik Gelişme Durumu,” *Tekstil İşveren Dergisi*, sayı 253, s. 36-39.
3. Bilgiustam.com. “Sanayi nedir?,” <http://www.bilgiustam.com/sanayi-endustri-nedir/>, son erişim tarihi: 07.12.2016.
4. Karluk, S. R. 2002. *Türkiye Ekonomisi, Tarihsel Gelişim, Yapısal ve Sosyal Değişim*, 7. Basım, Beta Basım, İstanbul.



5. **Yüksel, H.** 2010. Üretim/İşlemler Yönetimi-Temel Kavramlar, 2. Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
6. **Bulut, Z. A.** 2004, “İşletmeler Açısından Kapasite Planlaması ve Kapasite Planlamasına Etki Eden Faktörler,” *Mevzuat Dergisi*, sayı 8, <http://www.mevzuatdergisi.com/2004/08a/06.htm>, son erişim tarihi: 10.11.2016.
7. **Koç, E.** 2000. Üretim Yönetimi ve Organizasyon, Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Yayın No: 33, Adana.
8. **Gülerman, A.** 1976. Mühendislik Ekonomisi ve İşletme Yönetimi, Ege Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi Tekstil Mühendisliği Bölümü Yayınları, Yayın No: 4, İzmir.
9. **Özgen, H., Yalçın, A.** 2006. Temel İşletmecilik Bilgisi, 3. Baskı, Nobel Kitabevi, Adana.
10. **Eğilmez, M.** 2016. “Kapasite Kullanımı Nedir, Nasıl Ölçülür, Ne İşe yarar?,” <http://www.mahfiyegilmez.com/2012/03/kapasite-kullanm-nedir-nasl-olculur-ne.html>, son erişim tarihi: 07.06.2016.
11. *Piyasarehberi.org*. “Kapasite Kullanım Oranı,” <http://piyasarehberi.org/sozluk/kapasite-kullanim-orani>, son erişim tarihi: 10.11.2016.
12. **İzzet, U.** 2016. “Kapasite Kullanım Oranı Üretimde Sorunların Devam Ettiğini Gösteriyor,” *Ortadoğu Gazetesi*, <http://www.ortadogugazetesi.net/makale.php?id=5636>, son erişim tarihi: 21.11.2016.
13. TCMB. “İmalatSanayiKapasiteKullanımOranı’naİlişkinYöntemselAçıklama,”<http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/0801f284-a3e5-4604-8fd4-9a01bed1e422/KKO-Y%C3%B6ntemsel+A%C3%A7%C4%B1klama.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=0801f284-a3e5-4604-8fd4-9a01bed1e422>, son erişim tarihi: 08.11.2016.
14. *Prezi.com*. “Sanayi Kapasite Kullanım Oranını Etkileyen Faktörlerin Modellenmesi,” <https://prezi.com/xjeutyvelxnr/sanayi-kapasite-kullanm-orann-etkileyen-faktorlerin-model>, son erişim tarihi: 30.11.2016.
15. TCMB. “İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranına İlişkin Uygulama Değişiklikleri,” <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/0ab0e5f0-f965-4f70-a49389e5c55d6977/KKO-UygulamaDegisiklikleri.pdf?MOD=AJPERES&CACHEID=0ab0e5f0-f965-4f70-a493-89e5c55d6977>, son erişim tarihi: 08.11.2016.
16. *TUIK*. “Sanayi Üretim Endeksi Mart 2016,” <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=21632>, son erişim tarihi: 12.05.2016.
17. **Eğilmez, M.** 2012. “Sanayi Üretimi ve Kapasite Kullanımı Nasıl Ölçülür?,” <http://www.mahfiyegilmez.com/2012/03/sanayi-uretimi-ve-kapasite-kullanm-nasl.html>, son erişim tarihi: 05.06.2016.
18. *Paraborsa.net*. “Kapasite Kullanım Oranı Nedir?,” <https://www.paraborsa.net/i/kapasite-kullanim-orani-nedir>, son erişim tarihi: 08.11.2016.
19. **Korkmaz, E.** 2016. “Reel Sektör Neden Zora Girdi,” *Yeniçağ Gazetesi*, <http://www.>



esfenderkorkmaz.com/yenicag/reel-sektor-neden-zoragirdi.html, son erişim tarihi: 06.05.2016.

20. TCMB. “İmalat Kapasite Kullanım Oranı Nisan 2017,” <http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/tcmb+tr/tcmb+tr/main+menu/istatistikler/reel+sektor+istatistikleri/imalat+sanayi+kapasite+kullanim+orani>, son erişim tarihi: 28.04.2017
21. **Uras, G.** 2016. “Sanayici Giderek Daha Az Katma Değer Yaratır Oldu,” Milliyet Gazetesi, <http://www.milliyet.com.tr/sanayici-giderek-daha-az-katma/ekonomi/ydetay/1767148/default.htm>, son erişim tarihi: 30.11.2016.
22. **Yücer, İ.** 2016. “Katma Değeri Yüksek Ürün Nedir,” <http://dribrahimyucer.blogspot.com.tr/2012/06/katma-degeri-yukse-urun-nedir.html>, son erişim tarihi: 30.11.2016.
23. **Kılıç, C.** 2016. “Türkiye’de İş Yapmak Ne Kadar Kolay,” Milliyet Gazetesi, <http://www.milliyet.com.tr/turkiye-de-is-yapmak-ne-kadar-ekonomi-ydetay-2345014/>, son erişim tarihi: 02.12.2016.

# Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi<sup>1</sup>

Süleyman Sapmaz <sup>\*2</sup>

Durmuş Kaya <sup>3</sup>

## ÖZ

Basınçlı hava üretimi için kullanılan elektrik enerjisinin büyük bölümü sıkıştırma işinde meydana gelen çeşitli tersinmezlikler nedeniyle kaybedilmektedir. Kompresör çıkışında elde edilen basınçlı hava, prosesteeki kayıplardan dolayı elektrikten daha pahalı bir enerji kaynağıdır. Bu çalışmada, mevcut bir basınçlı hava sisteminin enerji verimliliği değerlendirilmesi yapılırken incelenmesi gereken tüm yönler açıklanmaktadır. Bu yöntemler kompresör atık ısısından faydalanılması, basınçlı hava hatlarındaki sızıntıların önlenmesi, kompresör emiş havasının olabildiğince serin bir ortamdan alınması, kompresör motorunun daha verimli bir motor ile değiştirilmesi olarak tespit edilmiştir. Bu yöntemlere ilişkin hesap metotları kullanılarak incelenen tesislerde yıllık toplam enerji kazanımı ve yıllık mali tasarruf değerleri hesaplanmıştır. Doğalgaz ve elektrik enerjisi için uygun emisyon katsayıları kullanılarak emisyonlarda meydana gelecek yıllık toplam azaltım miktarı hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Atık ısı geri kazanımı, basınçlı hava sistemi, emisyon, enerji verimliliği, kompresörler

## Investigation of Energy Efficiency and Emission Reduction Opportunities in Compressed Air Systems

### ABSTRACT

Majority of electrical energy used for compressed air production is lost because of irreversibility. Due to compression process loses, compressed air is more expensive than electricity as an energy source. In this study, all aspects required to evaluate compressed air system energy efficiency are represented. Determined energy efficiency increasing methods are; application of waste heat recovery, leakage prevention, reducing compressor inlet air temperature, compressor outlet pressure reduction and use of high efficiency motors. By using related calculation methods annual total energy and annual financial saving values are calculated. Total emission reduction is calculated using proper specific emission factors for natural gas and electricity.

**Keywords:** Waste heat recovery, compressed air system, emission, energy efficiency, compressor

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 01.02.2017

Kabul/Accepted : 16.05.2017

<sup>1</sup> Bu makalenin İngilizcesi "International Conference on Civil and Environmental Engineering (ICOCEE 2017- Cappadocia)" etkinliğinde tam metin bildiri olarak sunulmuştur.

<sup>2</sup> Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, suleyman\_sapmaz@hotmail.com

<sup>3</sup> Prof. Dr., Kocaeli Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Kocaeli, durmuskaya@hotmail.com

## 1. GİRİŞ

Ortam havasının emilerek özel düzenekler içerisinde sıkıştırılmasıyla basınçlı hava elde edilir. İşletme karakteristikleri basınçlı havayı cazip bir enerji taşıyıcısı haline getirmektedir. Çünkü hava, atmosferden alınıp herhangi bir geri dönüş hattına ihtiyaç duyulmaksızın atmosfere atılabilmektedir. Ayrıca hava, kıvılcım ve açık ateşin oluşabileceği tehlikeli ortamlarda parlama ve yanma riski olmaksızın güvenle kullanılabilir [1].

Basınçlı hava, endüstriyel tesislerde üretimin çeşitli aşamalarında kullanılan önemli bir girdidir. Otomotiv sektöründe basınçlı hava; su, elektrik ve doğalgazın ardından imalat süreçlerini kolaylaştıran 4. önemli girdidir [2]. Basınçlı hava sistemi, birçok endüstriyel tesiste elektrik tüketiminde 3. sırada yer almaktadır [3]. Ayrıca basınçlı hava AB endüstriyel elektrik kullanımının %10'luk kısmını oluşturmaktadır [4]. Bu nedenle, enerji maliyetlerinin düşürülmesi açısından önemli sistemlerdendir.

Endüstriyel ekipmanların enerji verimliliği değerlendirmesinde Özgül Enerji Tüketimi (ÖET) dikkate alınmaktadır. Bir kompresör için ÖET; nominal yüklenme durumunda, enerji tüketiminin (kWh) basınçlı hava üretim miktarına ( $m^3$ ) oranlamasıyla tespit edilebilir. Tablo 1'de, bir kompresörün ÖET değerine bağlı olarak enerji verimliliği değerlendirilmesi verilmektedir.

**Tablo 1.** Kompresör ÖET Değerine Göre Enerji Verimliliği Değerlendirmesi [5]

Özgül Enerji Tüketimi (ÖET) kWh/Nm <sup>3</sup>	Enerji Verimliliği Değerlendirmesi
0,085-0,11	Çok İyi
0,11-0,13	İyi
>0,13	Yüksek (Sistemde problem olabilir.)

Ekonomik etkisinin yanında basınçlı hava kayıplarının azaltılması çevre açısından da faydalıdır. Kayıpların azaltılması aynı zamanda enerji üretimine olan talebi azaltmakta ve böylece daha az CO<sub>2</sub> ve diğer zararlı bileşenin atmosfere salınmasını sağlamaktadır [6]. Bir kompresörün bir yıllık sürekli çalışma süresince elektrik enerjisi tüketimi genellikle bu ekipmanın ilk yatırım maliyetinden daha fazladır [7].

Saidur ve arkadaşları, basınçlı hava sisteminde enerji etüt yöntemini açıklayarak potansiyel tasarruf alanlarında yapılacak iyileştirme yöntemlerini vermişlerdir [4]. İnceleme sonuçlarına dayanarak elektrik motoru ile tahrik edilen bir kompresörde yüksek verimli motor ve hız ihtiyaçlarını karşılamak için DHS (Değişken Hız Sürücüsü) kullanımı ile oldukça önemli miktarda enerji tasarrufu sağladığı bulunmuştur.

Yang, kompresör sisteminde yapılan bir enerji etütü ile Vietnam'da bulunan bir tesis



için elde edilecek kazançlarını hesaplamıştır [8]. Bu çalışmada, tesisin enerji kayıplarının kompresör sisteminin optimize edilmemiş olmasından ve sızıntılardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Çalışmada, kompresör sistemine yapılacak 84.000 \$ değerinde enerji verimliliği yatırımının geri ödeme süresi 6 ay olarak hesaplanmıştır.

Dindorf ise basınçlı hava hatlarındaki potansiyel enerji tasarruf kalemlerini ve hesap yöntemlerini vermiştir [5]. Uygulanabilir enerji tasarruf yöntemlerinin tespit edilebilmesi için basınçlı hava sistemi envanteri ve işletme parametrelerinin toplanması gerektiği belirtilmektedir. Elde edilen veriler ışığında kompresör sistemi performansına ait göstergeler: Özgül güç, yıllık enerji maliyeti, basınçlı hava maliyeti, hava sızıntıları, basınç düşüşü hesaplanabilir ya da tahmin edilebilir.

Kaya ve arkadaşları, basınçlı hava sisteminde bazı potansiyel tasarruf kalemlerine ait hesap yöntemlerini vermiş ve bir sanayi kuruluşunda elde edilebilecek kazanım miktarlarını hesaplamışlardır [7]. Bu çalışmada, mevcut basınçlı hava sistemlerinde bazı modifikasyonlarla enerji maliyetinin nasıl azaltılacağı da ortaya konulmuştur. Ayrıca, bu kazançlara ilişkin yatırım maliyetleri ve geri ödeme süreleri de hesaplanmıştır.

Saidur, DHS kontrol sisteminin mevcut motorlarda getireceği enerji kazancını hesaplamış ve bu sistemin kompresörlerde kullanımı hakkında bilgi vermiştir [9]. Bu çalışmada, DHS sisteminin kullanımının enerji maliyetini %15-40 arasında azalttığı ve yumuşak duruş ve kalkışlarla ekipman ömrünü uzattığı belirtilmiştir. Buna rağmen, 200 hp bir motor için DHS uygulama maliyetinin 45.000 \$ civarında olduğu belirtilmiştir.

Sapmaz ve arkadaşları, 4 aktif ve 4 yedek kompresörden oluşan ve ortalama 12000 Nm<sup>3</sup>/h kapasiteyle çalışan bir basınçlı hava şebekesi için yağsız vidalı kompresörleri kullanılarak atık ısı geri kazanım uygulaması yapıldığı takdirde mali olarak 145\$/h eşdeğeri ısı enerji geri kazanılabileceğini ifade etmişlerdir. Kompresör sisteminin 20 yıl süre ile faaliyette kalması sağlandığında atık ısıdan 128239720 kWh termal enerji ve bunun karşılığı 20.000.000 \$ üzerinde bir mali kazancın sağlanabileceğini ortaya koymuşlardır [10].

Yapılan literatür taramasında ulaşılan çalışmalar genellikle kompresör tasarımına ait geliştirmeler sunmaktadır. Pek az çalışmada ise kompresörlerde yapılabilecek enerji kazanımlarına ilişkin hesap yöntemleri açıklanmaktadır. Aşağıda basınçlı hava sistemlerinde potansiyel tasarruf imkânları başlıklar halinde incelenmiş ve gerekli hesaplama yöntemleri verilmiştir. Farklı tesislerde yapılan endüstriyel ölçümler ve bahsedilen hesap yöntemleri uygulanarak basınçlı hava sistemleri analiz edilmiştir. Hesaplama yöntemlerinin tutarlı cevaplar sağladığı gözlenmiştir. Ayrıca, elde edilen enerji kazanımları ile meydana gelecek yıllık emisyon azaltım miktarı hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı; sanayi kuruluşlarında basınçlı hava kaynaklı enerji kayıplarını azaltmaya ve enerji tasarrufu sağlamaya yönelik çalışmalara rehberlik etmektir.

## 2. ENERJİ VERİMLİLİĞİ FIRSATLARI

### 2.1 Atık Isı Geri Kazanımı

Basınçlı hava elde etmek için kompresörlerde harcanan elektrik enerjisinin %80~93'ü ısı enerjisine dönüşmektedir [11]. Üretim veya proses aşamasında, ısıtma amaçlı elektrik, gaz veya sıvı yakıt kullanılıyorsa, bu yöntemlerden birinin kısmen ya da tamamen yerini kompresörden elde edilecek ısı enerjisine bırakma olasılığı vardır. Çeşitli sistemler kullanılarak kompresör yağ, soğutma suyu veya sıcak havadan çekilen ısı; konfor ısıtması, kazan yanma havası, besleme suyu ön ısıtması, proses ısıtması ve diğer amaçlar için kullanılabilir. Geri kazanılan ısı enerjisi kazancı belirlerken, elde edilecek sıcaklık seviyeleri, olası kullanım alanlarını belirler. Bir sıkıştırma sürecinde basınç artışına bağlı olarak hava sıcaklığında meydana gelecek artış Denklem 1'e göre hesaplanabilmektedir [12].

$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_1 \times \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (1)$$

Hava ile soğutma yapılması durumunda kompresör kabininden 85-90 °C sıcaklıkta hava çıkışı olacaktır. Kompresör yüzeylerinden bulaşabilecek yağ ve toz parçacıklarının varlığı, kullanımda göz önünde bulundurulmalıdır. Sıcak havanın fırın ve kazanlara yakma havası olarak kullanılması uygundur.

Su soğutmalı kompresörlerde mevcut durumda kompresörlerin soğutma devrelerindeki ısı yükü; soğutma kulesi veya radyatörler kullanılarak atmosfere atılmaktadır. Bu ısı yükünü, uygun eşanjör kullanılarak ısı ihtiyacı olan farklı bir devreye aktarılması mümkündür. Ayrıca, kompresörden gelen bu kaynak, sıcaklığın yetersiz olduğu durumda ısı pompası yardımıyla daha yüksek sıcaklığa çıkarılabilir.

### 2.2 Kaçakların Önlenmesi

Pratikte basınçlı hava; filtrelerde, borularda, valflerde, bağlantı noktalarında sürtünme ya da kaçaklar ile basıncını kaybeder. Verimli çalışan bir sistemde basınç kaybı, sistemin kompresöre en uzak noktasında, en fazla %10 civarında olmalıdır [13].

Basınçlı hava sistemlerinde meydana gelen basınç kayıpları 3 ana grupta toplanabilir: sızıntılarla oluşan hava kaybı, sanal talep ve gereksiz kullanım [14]. Sızıntı, pnömatik sistemlerde enerji kayıplarının en büyük kaynaklarından biri ve enerji verimliliğini artırmak konusunda en basit ve ucuz araçtır. Aktif sızıntı tespiti ve yeterli bakım işlemi ile sızıntı miktarı toplam basınçlı hava üretiminin %10'undan daha aşağı çekilebilir [14].





Sızıntıların tespiti, ölçülmesi ve tamir edilmesi, kompresör çalışma süresinin azaltılması ve bu sayede kompresör ömrünün uzatılmasına, gereksiz kompresör kapasitesinin azaltılmasına, basınçlı hava ile çalışan cihazların verimini ve çalışma kalitesini düşüren, potansiyel olarak duruşlara neden olan basınç dalgalanmalarının engellenmesine, fazla bakım sürelerinin ortadan kaldırılmasına katkı sağlamaktadır [5].

Gürültülü fabrika ortamında, kokusu ve rengi olmayan havanın, sızıntı durumunda fark edilmesi imkânsızdır. Bu durumda sızıntı tespiti için ultrasonik sızıntı ölçüm cihazları kullanılabilir. Bu cihazlar yardımıyla sızıntıların şiddeti (db) ölçümü alınabilir. Farklı hat basınçları için ölçülen db değerlerine karşılık gelen yaklaşık hava debileri tablolar yardımıyla hesaplanabilir. Basınçlı hava hattından sızan hava debisi tespit edildiğinde, kompresörün birim havayı sıkıştırmak için harcayacağı enerjiden yola çıkılarak Denklem 2'ye göre kaçak havanın sıkıştırılması için harcanmış olan güç miktarı hesaplanabilir [7]. Sızıntı nedeniyle oluşan Güç Kaybının (GK) hesaplanması için kullanılan denklem; hat basıncı, çevre basıncı, motor verimi ve kompresör izentropik verimine de bağlıdır.

$$GK = \frac{P_i \times C \times V_f \times N \times \frac{k-1}{k} \times \left[ \left( \frac{P_0}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k \times N}} - 1 \right]}{\eta_a \times \eta_m} \quad (2)$$

### 2.3 Emiş Havası Sıcaklığı

Yer değiştirmeli kompresörlerin verimliliği sıkıştırılan havanın sıcaklığı ile ters orantılıdır. Bu nedenle, yaz aylarında kompresör emiş havasının kanallarla dışarıdan alınması enerji verimini arttıracaktır [15]. Ülkemiz coğrafi konumu dikkate alınarak, yaz aylarında dışarıdan alınacak havanın mümkün ise doğrudan güneş ışınımına maruz kalmayan kuzey cepheden alınması önerilmektedir.

Kompresör motorları ve vidalı kompresörlerde sıkıştırma elemanı proses gereği ısı yaymaktadır. Bu nedenle, kompresör odasında yeterli havalandırma sağlanmamış ise kompresör dairesi dış ortama oranla daha sıcak olacaktır. Özellikle yaz aylarında iç-dış ortam sıcaklık farkı çok artmakla birlikte bu değer kış aylarında dahi havalandırma yapılmayan kompresör dairelerinde 10-15 °C'ye ulaşmaktadır. Emiş havasının daha soğuk olması durumunda elde edilebilecek Oransal İş Kazancı (Wr) Denklem 3'e göre hesaplanabilmektedir. Elde edilen iş kazancı Denklem 4'e göre Yıllık Enerji Kazancına (YEK) çevrilebilir ve Denklem 5 kullanılarak Yıllık Mali Kazanç (YMK) hesaplanabilir [4]. Denklem 5, bu makale içerisinde gerçekleştirilen tüm enerji kazanımlarının, mali kazanımlara dönüştürülmesi için kullanılacaktır. Denklemde kazan-

cın yapıldığı enerji türü -elektrik, buhar, doğalgaz vb.-dikkate alınarak uygun Enerji Fiyatı (EF) kullanılmalıdır.

$$W_r = \frac{(W_1 - W_0)}{W_1} = \frac{(T_1 - T_0)}{T_1} \quad (3)$$

$$YEK_i = \frac{P \times YF \times H \times W_r}{n_{motor}} \quad (4)$$

$$YMK = YEK \times EF \quad (5)$$

## 2.4 Çıkış Basıncının Düşürülmesi

Düşük basınç gerektiren bir uygulamada orta/yüksek basınçta havanın kullanılması da havanın yanlış kullanımına bir örnektir. Bu durumun önüne geçmek için ihtiyaç duyulan hava basıncı tespit edilmeli ve kompresör bu değerlere uygun şekilde seçilmelidir. Kompresörün daha düşük basınçta çalışmasıyla meydana gelecek oransal iş kazancının hesaplama yöntemi Denklem 6'da verilmiştir [16]. Oransal iş kazancının toplam enerji kazancına dönüştürülmesi için Denklem 7 kullanılmaktadır.

Bazı durumlarda müstakil donanımlar yüksek basınç gerektirmektedir. Bu donanımların yeniden tasarlanması ya da yüksek basınçlı cihazların hava talebinin karşılanması için ikinci bir kompresör kullanılması ekonomik olmaktadır [9].

$$FR_i = \frac{\left( \frac{(P_{dp} + P_0)^{k-1}}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k \times N}} - 1}{\left( \frac{(P_{dp} + P_i)^{k-1}}{P_i} \right)^{\frac{k-1}{k \times N}} - 1} \quad (6)$$

$$YEK_j = \frac{P \times YF \times H \times (1 - FR_i)}{n_{motor}} \quad (7)$$

## 2.5 Yüksek Verimli Motor Kullanımı

Elektrik tahrikli bir kompresörün enerji tüketimi temel olarak elektrik motorunun enerji tüketimidir. Mevcut kompresör sistemlerinin elektrik motorlarının verim değerleri hesaplanarak değerlerin uygunluğu incelenmelidir. Elektrik motorunun daha verimli bir motor ile değiştirilmesi durumunda elde edilecek kazanç hesaplamaları Denklem 8'e göre yapılabilmektedir [4].



$$YEK_k = P \times YF \times H \times \left( \frac{1}{n_{std}} - \frac{1}{n_{ev}} \right) \quad (8)$$

## 2.6 DHS Kullanımı

Geleneksel elektrik motorları kompresörlerde %50 ve daha aşağısında yüklemeye değerlerinde dahi nominal gücün %60-80'i oranında enerji tüketmektedirler [4]. Hava kompresörlerinin deplasmanı ve krank mili dönme hızı yaklaşık olarak doğru orantılıdır; hava yer değiştirmesi kompresörü tahrik eden motorun dönme hızı ayarlanarak değiştirilebilir. Hava kompresörünün birim hava debisi; motor dönme hızı inverter yardımıyla kontrol edilebilir ve bu sayede hat basıncı kontrol edilebilir [17].

## 3. EMİSYON AZALTIMI

Yukarıda önerilen ve basınçlı hava sistemlerinin enerji verimli olarak kullanılmasını sağlayacak olan yöntemlerin enerji tüketiminde sağladığı kazanç, emisyonlarda meydana gelecek doğrudan kazanç (azaltım) anlamına gelmektedir. Her bir yakıt için emisyon değerlerinin hesaplanmasında yakıtta özgü emisyon faktörü (EMF) ve yakıt tüketimi kullanılır [18]. Elektrik üretimi açısından emisyon değeri ülke enerjisi üretiminde kullanılan fosil yakıtların emisyon faktörleri ve toplam elektrik üretimindeki payları ile hesaplanmaktadır. Birim elektrik enerjisi başına CO<sub>2</sub> emisyonu 0,462 kg CO<sub>2</sub>/kWh olarak kullanılmıştır. Doğalgaz emisyon faktörü ise 0,2028 kg CO<sub>2</sub>/kWh ısı (56100 kg CO<sub>2</sub>/TJ ısı) olarak doğalgaz olarak ifade edilmektedir [19]. Literatürde enerji üretiminden kaynaklı emisyon miktarları için hesaplamalar verilmektedir. Bu çalışmada amaçlanan ise önlenen emisyon miktarının hesaplanmasıdır. Önerilen her bir çözüm yöntemiyle tasarruf edilecek kaynak türünün (elektrik, doğalgaz) miktarı ve özel emisyon faktörünün çarpımı ile emisyon azaltımı hesaplanabilmektedir. Denklem 9'da EMF, yukarıda değerleri verilen emisyon faktörlerini ve YEK ise Denklem 4, 7 ve 8 yardımıyla hesaplanan yıllık enerji kazancını ifade etmektedir. Bu değerler bilindiğinde Yıllık Emisyon Azaltımı (YEA) hesaplanabilmektedir.

$$YEA = EMF \times YEK \quad (9)$$

## 4. SAHA ÇALIŞMALARI

Basınçlı hava sistemlerinde yukarıda belirtilen tasarruf ölçüm ve hesapları 3 farklı tesiste 6 aylık dönem içerisinde uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar firma yönetimlerine raporlanarak sunulmuştur.

### 4.1 Atık Isı Geri Kazanımı

Atık ısı uygulaması yapılan bir tesiste 5 adet aktif kompresörün 4'ünün enerji geri ka-

zanım sistemine uyumlu olduğu görülmüştür. Kompresörlerin yük faktörü %95 olduğu ve sürekli çalıştıkları gözlenmiştir. Kompresör soğutma sistemi soğutma kulesine bağlı olup, ölçüm alınacak uygun bağlantı noktaları ve hat üstü cihazlar bulunmadığı için kompresöre giren elektrik enerjisinin sadece %75'inin geri kazanılabildiği kabul edilmiştir. Kompresör soğutma suyunun şarj ısıtmasında kullanılmasıyla sağlanacak enerji tasarrufu Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Atık Isıdan Faydalanılması ile Potansiyel Enerji Kazancı

	Motor Gücü (kW)	kW	kWh/YIL	Doğalgaz (Sm <sup>3</sup> /Yıl)	TL/ Yıl
TOPLAM	1200	900	7.200.000	609.022	509.289

Atık ısıdan faydalanılması ile doğalgaz yakıtlı kazanın kullanımı azalacaktır. Bu uygulama ile sağlanacak emisyon azaltımı, doğalgaza ait emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmıştır.

$$YEA=0,2028 \times 7.200.000=1.460.160 \text{ kg CO}_2$$

Enerji kazancı çevresel ve ekonomik kazancın göstergesidir. Fakat soyut bir kavram olan enerji miktarının somut bir gösterge olan doğalgaz miktarına ya da anlaşılması basit olan mali kazanca çevrilmesi farkındalık sağlamaktadır.

Atık ısı uygulaması yapıldığı takdirde yıllık 500.000 TL üzerinde bir enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Atık ısı uygulaması için tesisat üzerinde uygun boyutta ısı değiştirici konulması ve ısının nakledilmesi için borulama yapılması gerekmektedir.

## 4.2 Kaçakların Önlenmesi

Basınçlı hava sızıntı miktarını tespit etmek üzere bir endüstriyel tesisteki 700 kPa

**Tablo 3.** Sızıntıların Enerji ve Mali Eşdeğerleri

Sıra No	Fotoğraf No	dB	Güç Kaybı (kW)	Vf (l/s)	Enerji Kaybı (kWh/yıl)	Enerji Maliyeti (TL/yıl)
1	5149	75	0,43	2,45	3782	727
2	5150	50	0,24	1,41	2177	418
3	5153	55	0,27	1,55	2393	460
...	...	...	...	...	...	...
20	5167	80	0,60	3,43	5296	1018
21	5168	50	0,24	1,41	2177	418
22	5169	58	0,29	1,64	2532	487
	<b>Toplam</b>		7,02	39,72	61341	11797



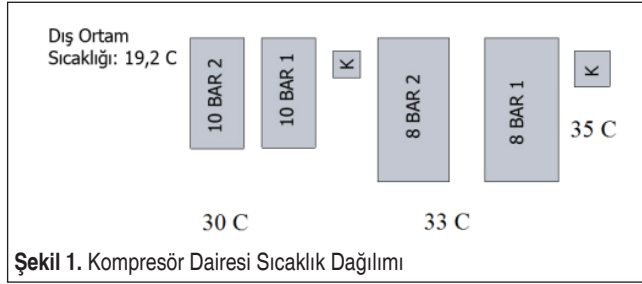
basıncılı hava hattında, ultrasonik sızıntı ölçüm cihazı ile yapılan çalışmada 22 farklı noktada sızıntı kaçağı tespit edilmiştir. Bu noktalarda oluşan sızıntı miktarı cihazın ölçtüğü ses şiddeti desibel (db) değeri ve tablolar kullanılarak hesaplanmıştır. Tespit edilen 22 farklı noktada meydana gelen sızıntı kayıpları Tablo 3'te görülmektedir. Güç kaybı hesaplamasında tesisin yılda 8000 saat çalıştığı kabul edilmiştir.

Tüm sızıntıların önlenmesi ile yıllık 61341 kWh enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan bir ise güç kaybı sütunudur. Tesiste kullanılan kompresörün 7 kW güç değerini sızıntılara harcamaktadır. Toplam sızıntı miktarı ise 39 l/s değerine ulaşmaktadır. Sızıntıların önlenmesi ile sağlanabilecek yıllık emisyon azaltımı aşağıda hesaplanmıştır.

$$YEA=0.462 \times 61.341=28.339 \text{ kg CO}_2$$

### 4.3 Emiş Havası Sıcaklığı

Uygulama yapılan tesisin kompresör dairesinde 800 ve 1000 kPa basınçlarda çalışan 2 aktif ve 2 yedek kompresör ile 2 adet kurutucu bulunmaktadır. Kompresör dairesinde hava kanalları mevcut olup cebri iklimlendirme yapılmamıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, kompresör dairesinde yapılan ölçümlerde dış ortam sıcaklığının 19 °C olduğu bir günde kompresör dairesindeki ortalama sıcaklık 30 °C olarak ölçülmüştür.



Kompresör hava emiş kanallarının dışarıya alınması ile emiş sıcaklığı yaklaşık 10 C azaltılabilmektedir. Bu durumda elde edilebilecek kazanç 800 ve 1000 kPa için 1'er kompresörün yıllık 8.000 saat çalıştığı ve yük faktörünün %80 olduğu kabul edilerek hesaplanmıştır.

$$W_r = \frac{(303-293)}{303} = 0,033$$

Bu durumda kompresör %3,3 daha az çalışarak normal işletmesini sürdürecektir. 800 kPa ve 1000 kPa kompresörleri için elde edilecek kazançlar aşağıda hesaplanmıştır. 315 kW motor gücünde olan 800 kPa kompresörü için;

$$YEK_i = \frac{315 \times 0,8 \times 8000 \times 0,033}{0,91} = 73.107 \text{ kWh}$$

$$YMK = 73107 \times 0,191325 = 13.987 \text{ TL}$$

132 kW motor gücünde olan 1000 kPa kompresörü için;

$$YEK_i = \frac{132 \times 0,8 \times 8000 \times 0,033}{0,91} = 30.635 \text{ kWh}$$

$$YMK = 30.635 \times 0,191325 = 5861 \text{ TL}$$

Toplam Kazanç

$$\text{Toplam YEK} = 73.107 + 30.635 = 103.742 \text{ kWh}$$

$$\text{Toplam YMK} = 13.987 + 5861 = 19.848 \text{ TL}$$

$$YEA = 0.462 \times 103.742 = 47.928 \text{ kg CO}_2$$

#### 4.4 Çıkış Basıncının Düşürülmesi

Yoğun Faz Pnömatik Taşıma (YFPT) sistemi kullanılan bir tesiste taşıma sistemine 700 kPa olarak gelen basınçlı hava regülatörle 350 kPa basınca düşürülerek kullanılmaktadır. Bu işlem için yeterli basınç 350 kPa olmasına rağmen, 700 kPa basınçta hava kullanılması maliyeti arttırmaktadır. Bahsedilen hattın 6 aylık ortalama hava tüketimi 1500 m<sup>3</sup>/h'tir. Aynı dönemde tüm sistemin ortalama hava debisi ise 14.657 m<sup>3</sup>/h'tir. Bu değerler incelendiğinde, 700 kPa olarak üretilen havanın 1/10'u 350 kPa' a düşürülerek kullanılmaktadır. Tesislerin birincil hava kompresörleri toplam etiket gücü 2627 kW'tır. Bu enerjinin %10'luk kısmı olan 262,7 kW enerji YFPT hattında kullanılacak olan havanın sıkıştırılmasında kullanılmaktadır.

Bu hattın 700 kPa yerine 350 kPa ile beslenmesi enerji maliyeti açısından en ekonomik çözüm olacaktır. Piyasada ihtiyaç duyulan kapasitede bulunan en düşük basınç 500 kPa olduğu görülmüştür. Bu nedenle, 500 kPa basınçta çalışabilen kompresör için hesaplama yapılmıştır.

$$FR_i = \frac{\left( \frac{(500+101,3)}{101,3} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4 \times 1}} - 1}{\left( \frac{(700+101,3)}{101,3} \right)^{\frac{1,4-1}{1,4 \times 1}} - 1} = 0,82$$

$$YEK_j = \frac{262,7 \times 0,8 \times 8000 \times (1-0,82)}{0,92} = 328.946 \text{ kWh}$$



$$YMK=328.946 \times 0,191325=62.935 \text{ TL}$$

$$YEA=0.462 \times 328.946=151.973 \text{ kg CO}_2$$

#### 4.5 Yüksek Verimli Motor Kullanımı

Yapılan endüstriyel uygulamalarda 50 kW gücünde bir kompresör motorunun verim değeri %83,48 olarak hesaplanmıştır. Bu kompresörün motorunun %95 verimle çalışan yeni bir motorla değiştirilmesi durumunda elde edilecek kazanç Denklem 8'e göre hesaplanmıştır.

$$YEK_k=50 \times 0,8 \times 8000 \times \left( \frac{1}{0,83} - \frac{1}{0,95} \right) = 87.660 \text{ kWh}$$

$$YMK=87.660 \times 0,191325=16.771 \text{ TL}$$

$$YEA=0.462 \times 87.660=40.498 \text{ kg CO}_2$$

### 5. SONUÇ

Bu çalışmada, 3 farklı sanayi tesisinin basınçlı hava sistemleri enerji verimliliği açısından değerlendirilmiştir. Çalışma ile enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı sağlanan başlıca uygulamalar; kompresör atık ısısından faydalanılması, basınçlı hava hatlarındaki sızıntıların önlenmesi, kompresör emiş havasının olabildiğince serin bir ortamdan alınması, kompresör motorunun daha verimli bir motor ile değiştirilmesidir. Yapılan çalışma ile 3 farklı tesisin basınçlı hava sistemlerinde önerilen metotlar kullanılarak 7.781.689 kWh/yıl enerji tasarrufu potansiyeli tespit edilmiştir (Tablo 4).

**Tablo 4.** Önerilen Uygulamalar ile Gerçekleştirilebilecek Enerji ve Mali Tasarruf ile Önlenecek Emisyon Miktarları

Tesis No	Uygulama	Enerji Kazanımı kWh/Yıl	Maddi Kazanım TL/Yıl	Önlenen Emisyon kg CO <sub>2</sub> /Yıl
Tesis 1	Atık Isı Geri Kazanımı	7.200.000	509.289	1.460.160
Tesis 2	Sızıntıların Tamiri	61.341	1.1797	28.339
	Kompresör Hava Giriş Sıcaklığının Düşürülmesi	103.742	1.9848	33.775
Tesis 3	Kompresör Çıkış Basıncının Düşürülmesi	328.946	62.935	151.973
	Yüksek Verimli Motor Kullanımı	87.660	17.770	40.498
<b>Toplam</b>		<b>7.781.689</b>	<b>621.639</b>	<b>1.714.745</b>

Atık ısı kaynağının doğalgaz yakıtlı sıcak su kazanını ikame eden/destekleyen kullanımını ile 7.200.000 kWh/yıl ısı enerjisi tüketimi ve 1.460.160 kg CO<sub>2</sub> emisyonu önlenmiştir. Enerji tasarrufu 609.000 Sm<sup>3</sup> doğalgaz tüketimine eşdeğerdir.

Tesiste ultrasonik debimetre ile 22 farklı noktada, farklı çaplarda deliklerden sızıntılar gerçekleştiği tespit edilmiştir. Sızıntıların giderilmesi ile 61.341 kWh/yıl elektrik enerjisi tasarrufu ve 11.797 TL/yıl mali tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir.

Kompresör dairesi içerisinde sıcaklığın dış ortam sıcaklığından yaklaşık 10 °C daha yüksek olduğu ölçülmüştür. Kompresör emiş kanalları kompresör dairesi dışına çıkarılarak emiş hava sıcaklığı düşürülebilecektir. Bu uygulama ile 103.742 kWh/yıl elektrik enerjisi ve 19.848 TL/yıl mali tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir.

Kompresör çıkış basıncına bağlı olarak özgül sıkıştırma işi artmaktadır. Uygulama çalışmasında 700 kPa havanın 350 kPa basınca regülatörle düşürülerek kullanıldığı görülmüştür. Bu sistemde 500 kPa basınçta çalışacak yeni bir kompresör kullanılarak 350 kPa basınç ihtiyacının bu kompresör ile sağlanması halinde, 328.946 kWh/yıl elektrik enerjisi ve 62.935 TL/yıl mali tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir.

Sanayi tesislerinde yıpranan motorlar tekrar sarım yapılarak toplam kullanım ömrü arttırılmaktadır. Fakat tekrar sarım işlemi yapılan motorlarda verim değeri düşmektedir. Uygulama çalışması ile verimi %83 olarak ölçülen bir elektrik motorunun %95 verimli yeni bir motor ile değiştirilmesi sonucu, 87.660 kWh/yıl 17.770 TL/yıl mali tasarruf potansiyeli tespit edilmiştir.

Emisyonlarda meydana gelecek azaltım değerlerine ilişkin hesaplamalara göre, atık ısı geri kazanımı ile 1.460.160 kg CO<sub>2</sub>/yıl emisyon azaltımı gerçekleştirilebilecektir. Diğer uygulamalarda; sızıntıların önlenmesi ile 28.339 kg CO<sub>2</sub>/yıl, emiş havasının dış ortamdan alınması ile 33.775 kg CO<sub>2</sub>/yıl, düşük basınçlı kompresör çalıştırılması ile 151.973 kg CO<sub>2</sub>/yıl, yüksek verimli motor kullanımı ile 40.498 kg CO<sub>2</sub>/yıl salımı önlenecektir.

## SEMBOLLER

C	Çevrim sabiti (3600s/1h)
EF	Enerji birim fiyatı
EMF	Emisyon faktörü
FR <sub>1</sub>	Oransal güç kazancı
GK	Güç kaybı
H	Kompresör yıllık çalışma saati
K	Özgül ısılar oranı (C <sub>p</sub> /C <sub>v</sub> ) hava için 1,4





N	Kompresör kademe sayısı
$n_a$	Kompresör adyabatik verim
$n_{ev}$	Enerji verimliliği yüksek motorun verim değeri
$n_m$	Motor verimi
$n_{std}$	Standart motor verimi
ÖET	Özgül enerji tüketimi
P	Motor etiket gücü
$P_{dp}$	Düzeltilmiş kompresör basıncı
$P_i$	Hat basıncı/Mevcut kompresör basıncı
$P_o$	Ortam basıncı
$P_1$	Kompresör emme ortam basıncı
$P_2$	Kompresör çıkış basıncı
$T_o$	Düzeltilmiş kompresör emme havası sıcaklığı
$T_1$	Kompresör emme ortamındaki hava sıcaklığı
$T_2$	Kompresör çıkışı hava sıcaklığı
$V_f$	Sızıntı hava debisi
$W_o$	Düşük hava giriş sıcaklığı için gerekli sıkıştırma gücü
$W_1$	Yüksek hava giriş sıcaklığı için gerekli sıkıştırma gücü
YEA	Yıllık emisyon azaltımı
YEK	Yıllık enerji kazancı
YF	Kompresör yük faktörü
YMK	Yıllık mali kazanç

## KAYNAKÇA

1. **Sullivan, J. A.** 1989. Fluid Power-Theory and Applications, A Reston Book Prentice Hall, USA.
2. **Yuan, C., Zhang, T., Rangarajan, A., Dornfeld, D., Ziemba, B., Whitbeck, R.** 2006. "A Decision-Based Analysis of Compressed Air Usage Patterns in Automotive Manufacturing," Journal of Manufacturing Systems, vol. 25, p. 293-300.
3. **Güleç, M.** 1999. "Pnömatik Sistemlerde Tasarruf Önlemleri ve Yöntemleri," MMO I. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi ve Sergisi, 3-5 Aralık 1999, İzmir-Türkiye.
4. **Saidur, R., Rahim, N., Hasanuzzaman, M.** 2010. "A Review on Compressed-Air Energy Use and Energy Savings," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 14, p. 1135-1153.

5. **Dindorf, R.** 2012. "Estimating Potential Energy Savings in Compressed Air Systems," *Procedia Engineering*, vol. 39, p. 204-211.
6. **Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V., Stojiljković, M.** 2012. "Leakage Quantification of Compressed Air Using Ultrasound and Infrared Thermography," *Measurement*, vol. 45, p. 1689-1694.
7. **Kaya, D., Phelan, P., Chau, D., Sarac, H. I.** 2002 "Energy Conservation in Compressed-Air Systems," *International Journal of Energy Research*, vol. 26, p. 837-849.
8. **Yang, M.** 2009. "Air Compressor Efficiency in a Vietnamese Enterprise," *Energy Policy*, vol. 37 (6), p. 2327-2337.
9. **Saidur, R., Mekhilef, S., Ali, M. B., Safari A., Mohammed, H. A.** 2012. "Applications of Variable Speed Drive (VSD) in Electrical Motors Energy Savings," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, p. 543-550.
10. **Sapmaz, S., Taylan, O., Coban, V., Cagman, S., Kilicaslan, I., Kaya, D.** 2015. "Selection of Compressors for Petrochemical Industry in Terms of Reliability, Energy Consumption and Maintenance Costs Examining Different Scenarios," *Energy Exploration and Exploitation*, vol. 33 (1), p. 43-62.
11. **Saidur, R., Mekhilef, S.** 2010. "Energy Use, Energy Savings and Emission Analysis in the Malaysian Rubber Producing Industries," *Applied Energy*, vol. 87, p. 2746-2758.
12. **Rabie, M. G.** 2009. *Fluid Power Engineering*, Mc Graw-Hill, New York, USA.
13. British Compressed Air Society. 1992. Basınçlı Hava Servislerinin Seçim ve Tesis Etme Kılavuzu, Çev. Erdoğan Tan, <https://documents.tips/documents/basincli-hava-kilavuzu.html>, son erişim tarihi: 10.01.2017.
14. **Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V., Stojiljković, M.** 2012. "Leakage Quantification of Compressed Air on Pipes Using Thermovision," *Thermal Science*, vol. 16, p. 621-632.
15. **Talbott, E. M.** 1993. *Compressed Air Systems: A Guidebook on Energy and Cost Savings*, The Fairmont Press, Georgia, USA.
16. **Sapmaz, S.** 2014. "Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulaması," Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. **Liang, H., Li, X.** 2011. "Applications of Frequency Conversion Technology in Air-Compressor Units Control System," *Procedia Engineering*, vol. 15, p. 944-948.
18. **Ari, I., Koksal, M. A.** 2011. "Carbon Dioxide Emission from the Turkish Electricity Sector and its Mitigation Options," *Energy Policy*, vol. 39, p. 6120-6135.
19. **Aslanoglu, S. Y., Koksal, M. A.** 2012. "Elektrik Üretimine Bağlı Karbondioksit Emisyonunun Bölgesel Olarak Belirlenmesi ve Uzun Dönem Tahmini," *Hava Kirliliği Araştırmaları Dergisi*, sayı 1, s. 19-29.

# Uçuş Prosedürleri İçin Yol Tanımlayıcıları

Özlem Şahin \*<sup>1</sup>  
Öznur Usanmaz <sup>2</sup>

## ÖZ

Uçuş prosedürlerinin seyrüsefer veri tabanına girişinin yapılabilmesi için kod şekline dönüştürülmesinde kullanılan yol tanımlayıcılar, iki tane alfa nümerik harf ile tanımlanmaktadır. ARINC 424'te 23 tane yol tanımlayıcı mevcuttur; fakat, bunlardan sadece 11 tanesi saha seyrüsefer prosedür tasarımında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, saha seyrüsefer için kullanılan yol tanımlayıcıların bacak tipleri, kodlanması ve harita gösterimi örneklerle açıklanacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Saha seyrüseferi, seyrüsefer veritabanı, yol tanımlayıcı, yol noktası

## Path Descriptors for Flight Procedures

### ABSTRACT

Path descriptors are two letter codes which translate textual description of flight procedures into a code for the navigation database. There are 23 path descriptors in ARINC 424 but only 11 of them are used for an area navigation (RNAV) procedure design. In this study, path terminator leg types will be explained and path descriptor coding rules and charting will be presented.

**Keywords:** Area navigation, navigation database, path descriptor, waypoint

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 05.07.2017

Kabul/Accepted : 17.08.2017

<sup>1</sup> Yrd. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hava Trafik Kontrol Bölümü, Eskişehir - osahin5@anadolu.edu.tr

<sup>2</sup> Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Eskişehir - ousonmaz@anadolu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Performansa dayalı seyrüsefer (PBN-Performance based Navigation), saha seyrüsefer (RNAV-Area Navigation) ve gerekli seyrüsefer performansı (RNP-Required Navigation Performance) kavramlarından oluşmaktadır. Performans standartlarını kullanarak uçağın seyrüsefer kabiliyetini tanımlar. RNAV, istasyon referanslı seyrüsefer yardımcılarının erişim alanı dahilinde ya da uçaktaki cihazların kendi seyrüsefer limitleri dahilinde ya da bunların birleşimi sayesinde istenilen herhangi bir uçuş güzergahında uçağın operasyonuna olanak veren bir seyrüsefer yöntemidir. RNP ise belirlenmiş hava sahası içerisinde yatay düzlemde sağlanması istenen seyrüsefer doğruluğu olarak tanımlanmaktadır. RNP, RNAV seyrüsefer özelliği ile benzer olup, tek farkı kokpitte izleme ve ikaz sisteminin yer almasıdır. Böylelikle, pilot seyrüsefer sistemin başarısız olduğu durumları saptayabilecektir [1-3].

PBN, hava sahası ve uçuş prosedür tasarımını kolaylaştıran, emniyetli şekilde hava trafik akışını düzenleyen uçuş rotalarının tasarımında ve uygulanmasında önemli rol oynamaktadır. PBN uçuş operasyonlarını gerçekleştirmek, uçaktaki uçuş yönetim sisteminin (FMS-Flight Management System) kabiliyetindeki gelişmeler sayesinde mümkün olmaktadır [4]. FMS, uçağın öngörülebilir ve tekrarlanabilir RNAV, RNP uçuş rotalarında operasyon yapmasına imkan vermesi nedeniyle PBN'in en önemli elemanıdır [5-8]. Hemen hemen tüm kurumsal ve ticari uçaklar, seyrüsefer radyo alıcıları, atalet referans sistemleri (IRS-Inertial Reference System), havadaki veri sistemleri, seyrüsefer, uçuş ve alet göstergeleri, uçuş kontrol sistemleri, motor ve yakıt sistemleri ve veri hatlarından oluşan FMS sistemlerine sahiptir. Uçuş yönetim bilgisayarları (FMCs-Flight Management Computers) bu alt sistemleri işlemektedir [8].

FMS bünyesindeki seyrüsefer veri tabanı, terminal kontrol sahasındaki ve yoldaki tüm fiक्सleri, yol noktalarını (wp-waypoint), seyrüsefer yardımcılarını, standart terminal geliş rotalarını (STAR-Standard Terminal Arrival Routes), standart aletli kalkış (SID-Standard Instrument Departure) rotalarını, aletli yaklaşma haritalarını (IAC-Instrument Approach Chart) bekleme paternlerini, yere ve uyduya dayalı seyrüsefer sistemlerini kapsamaktadır. Uçuş operasyonunda gerek duyulan uçuş planları, rota bilgileri, coğrafi fiक्सler, seyrüsefer yardımcıları ve veri tabanı elemanlarını, vb. bütün bilgileri sağlamaktadır [9].

Havacılık haritalarının, uçuş mürettebatı tarafından daha iyi anlaşılmasında görsel iyileştirmeler yapan ve uçuş bilgilerinin sunumunda kolaylık sağlayan, hava seyrüsefer veri tabanı 1970'lerden beri kullanılmaktadır. Dolayısıyla, güvenilir ve tutarlı hava seyrüsefer veri tabanlarına önemli derecede ihtiyaç vardır [6].

RNAV sistem, FMS'in bir parçası olarak kabul edilebilir ve terminal hava sahası operasyonları için RNAV sistem tarafından kullanılan tüm seyrüsefer verileri, havacılık



standartları ARINC 424 Seyrüsefer Sistemi Veritabanı özelliklerine göre kodlanmış verilerden türetilmiştir. Seyrüsefer sistemleri için haritalarda belirtilen rotaların uygun kodlara çevrilmesini sağlamak için, havacılık endüstrisi tarafından terminal prosedürleri için yol sonlandırıcı (path terminator) kavramı geliştirilmiştir. Yol sonlandırıcılar, havacılık haritalarında yol tanımlayıcı (path descriptor) olarak ifade edilmekte olup, bu çalışmada yol tanımlayıcı ifadesi kullanılacaktır.

Yol tanımlayıcılar, iki tane alfa nümerik harften oluşan kodlardır ve prosedürün bir bölümü boyunca belirli bir uçuş rotasını ve bu uçuş rotasına geçiş tipini tanımlamaktadır. Tüm RNAV SID, STAR ve yaklaşma safhaları için hava seyrüsefer veri tabanına kodlanır [10]. Bu çalışmada, RNAV yol tanımlayıcı tipleri, kodlanması ve harita gösterimi tanımlanacak ve örnekler ile açıklanacaktır.

## 2. YOL TANIMLAYICI TİPLERİ VE KODLAMA KURALLARI

Yol tanımlayıcılar, RNAV rotaların kalkıştan yol safhasına bağlanmasına ve uçağın yol safhasından ayrılıp RNAV prosedürün sonuna kadar, her bir bacağın tanımlanmasında kullanılmaktadır. Yol safhası veya terminal kontrol sahası (TMA-Terminal Control Area) dışındaki diğer rotaları düzenlemekte kullanılmamaktadır. ARINC 424'te tanımlanan 23 farklı yol tanımlayıcı mevcuttur. Bunlardan 11 tanesi RNAV prosedür tasarımında kullanmak için uygundur [10].

İki tane alfa nümerik harften oluşan yol tanımlayıcılarda, ilk harf, uçağın ilgili noktaya nasıl ulaştığını (direkt, vektör vb.) ifade etmektedir. İkinci harf ise bir şart ya da durum belirtmekte olup (bir fiks, irtifa vb.), bir sonraki bacağa geçmek için gerekli olan şartı tanımlamaktadır. Örneğin pilotun pist başını muhafaza ederek 2000 feet'e tırmanması ve daha sonra bir fikse direkt uçma talimatı almasında hem takip edeceği uçuş yolu hem de bir sonraki uçuş bacağına geçiş için gerekli olan şart mevcuttur. Bu örnekte yol, pist başını muhafaza etmesi için korunan uçuş başı; geçiş ise 2000 feet irtifa kısıtıdır. Daha sonraki bacak otomatik olarak düzenlenir. Uçuş prosedürü hazırlanırken, seyrüsefer veri tabanına bir seri bacak tipi kodlanabilir [6]. Tablo 1'de RNAV yol tanımlayıcı bacak tipleri verilmiştir.

RNP uygulamaları için; başlangıç fiksi (IF-Initial Fix), fiske rota (TF-Track to Fix), sabit yarıçap dönüş (RF-Constant Radius Arc to a Fix) ve bekleme noktasından vektörle çıkış (HM-Holding/Racetrack to a Manual Termination) yol tanımlayıcıları kullanılmaktadır. Uçuş prosedürlerinde kullanılan tüm kodlar aşağıda açıklanmıştır. Ayrıca yol tanımlayıcı kodları ve gösterimleri Tablo 2'de verilmiştir.

**Başlangıç Fiksi (IF-Initial Fix):** RNAV prosedürlerin kodlanması IF ile başlar. IF kendi başına istenilen rotayı oluşturmaz; fakat istenilen rotayı tanımlamak için diğer bacak tipleri ile bağlantı sağlamada kullanılmaktadır.

**Tablo 1.** RNAV Yol Tanımlayıcı Bacak Tipleri [11]

YOL		TANIMLAYICI	
Tanım	İlk Harf	İkinci Harf	Tanım
Sabit DME yayı (Constant DME Arc)	A	A	İrtifa (Altitude)
Uçuş yoluna (Course to)	C	C	Mesafe (Distance)
Direkt rota (Direct Track)	D	D	DME Mesafesi (DME distance)
Fiksten uçuş yoluna (Course from a fix to)	F	F	Fiks (Fix)
Bekleme (Holding pattern)	H	I	Sonraki bacak (Next leg)
İlk (Initial)	I	M	Manuel geçiş (Manual termination)
Sabit yarıçap (Constant Radius)	R	R	Radyal geçiş (Radial termination)
Rota arası (Track between)	T		
Uçuş başı (Heading to)	V		

**Fikse Rota (TF-Track to Fix):** RNAV için düz rota safhasıdır. TF rota, iki yol noktası (waypoint-wp) arasında jeodezik yol ile tanımlanmaktadır. Yol noktalarından ilki, önceki safhayı sonlandıran wp ya da başlangıç fiksidir (IF). Orta ve son yaklaşma safhalarının daima TF rota olması gereklidir.


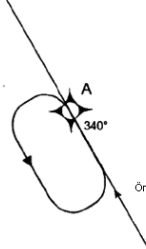
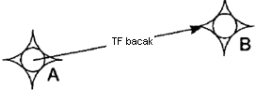
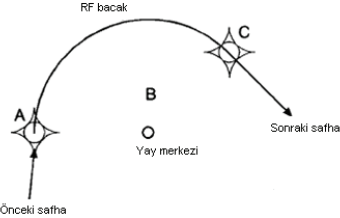
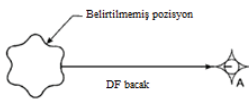
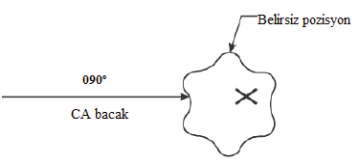
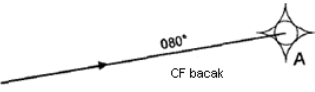
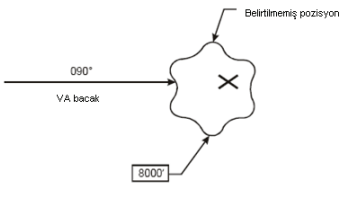
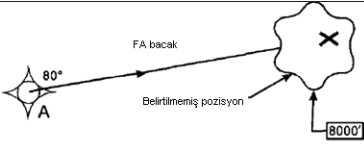
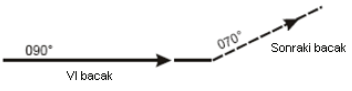
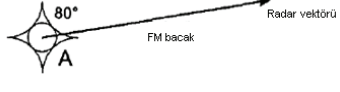

**Direkt Fikse (DF-Direct to Fix):** Uçağın rotası üzerindeki belirsiz bir pozisyondan belirli bir fikse ya da wp'e uçuş bacağı tanımlamak için kullanılmaktadır. DF yol tanımlayıcısı, tahmin edilebilir, tekrarlanabilir uçuş yolu sağlamaz. Aynı zamanda DF, dönüş noktasından ya da dönüş irtifasından en kısa rota mesafesini sağlamaktadır.

**Uçuş Yolundan İrtifaya (CA-Course to an Altitude):** Belirsiz bir pozisyon ve irtifada sonlanan uçuş yolunu tanımlamak için kullanılmaktadır.

**Fikse Uçuş Yolu (CF-Course to a Fix):** Belirli bir uçuş yolunun ardından fiks veya wp'te son bulan uçuş bacağı tanımlanmaktadır. CF, son yaklaşma segmentinin tanımlanması için izin veren tek yol tanımlayıcıdır. CF'nin normal kullanımı kalkışta veya pas geçmede FA veya CA'dan sonra gelir. CA/CF'nin birlikte kullanılması, kalkışın çevresel etkilerini azaltmada etkili olabilir.

**Fiksten İrtifaya Uçuş Yolu (FA-Course from a Fix to an Altitude):** Fiks veya wp'te başlayan, uçağın belirli bir irtifada veya üzerinde olduğu noktada sona eren uçuş yolunu tanımlamak için kullanılmaktadır. İrtifa noktası için pozisyon belirlenmemiştir. FA; bilinmeyen noktada son bulması nedeniyle tahmin edilebilir, tekrarlanabilir uçuş rotası sağlamamaktadır; fakat pas geçme prosedürleri için yararlı yol tanımlayıcıdır.

**Tablo 2.** Yol Tanımlayıcı Kodları ve Gösterimleri [10]

IF		HM	
TF		RF	
DF		CA	
CF		VA	
FA		VI	
FM		VM	

**Fiksten Manüel Sonlandırma (FM-Course from a Fix to a Manual Termination):** Uçuş bacağı, radar vektörü ile sonlandığında kullanılmaktadır. VM ile benzer işlevselliği sağlamaktadır. Uçak, pilot müdahalesine kadar belirtilen başta uçuşuna devam eder.

**Bekleme Noktasından Vektörle Çıkış (HM-Holding/Racetrack to a Manual Termination):** Uçuş ekibi tarafından manüel olarak sonlandırılan bekleme paternini tanımlamak için kullanılmaktadır.

**Tablo 3.** İlk ve Son Yol Tanımlayıcıları [10]

RNAV Prosedür	İlk Bacak	Son Bacak
SID	CA, CF, VA, VI	CF, DF, FM, RF, TF, VM
STAR	IF	CF, DF, FM, HM, RF, TF, VM
Yaklaşma	IF	CF, TF, RF
Pas Geçme	CA, CF, DF, FA, HM, RF, VI, VM	CF, DF, FM, HM, RF, TF, VM

**Sabit Yarıçap Yay (RF-Constant Radius Arc to a Fix):** Yol noktasında son bulan dairesel bir rotadır. Yayın başlangıcı, önceki safhanın son bulunduğu wp olarak tanımlanmaktadır. Yayın sonundaki wp, bacağın dönüş yönü ve dönüş merkezi seyrüsefer veri tabanı tarafından sağlanmaktadır. Yarıçap, RNAV sistem tarafından dönüş merkezinden bitiş wp'ine olan mesafe olarak hesaplanır. Tek bir yay, 2° ile 300° arasındaki herhangi bir dönüş için hesaplanabilir. Sistemlerdeki mevcut RF işlevselliği genellikle sadece RNP-RNAV gereksinimlerini karşılamak için tasarlanmaktadır.

**İrtifaya Vektörle Rota (VA-Heading to an Altitude):** Kalkış safhasında, vektörün tercih edildiği kalkışlar için kullanılmaktadır. Uçuş bacağı, bitiş pozisyonu olmadan, belirli bir irtifada son bulmaktadır. VA, RNAV tasarım içinde sadece başlangıç vektör bacaklarının gerekli olduğu, paralel kalkışlarda kullanılmaktadır.

**Sonraki Bacak için Vektör (VI-Heading to an Intercept):** Uçak bir sonraki bacağına dahil oluncaya kadar belirtilen başta uçuşuna devam eder.

**Manuel Sonlandırma için Vektör (VM-Heading to a Manual Termination):** Prosedürün sonunda, radar vektörünün sağlandığı yerde kodlanabilir. FM ile benzer işlevselliği sağlamaktadır. Pilot müdahalesine kadar, uçak belirtilen başta uçuşuna devam eder [10-12].

Uçuş prosedürlerinde yol tanımlayıcılar önceki ve sonraki bacak olarak belirli bir sırayı takip etmelidir. İzin verilen bacak sıralaması, yol tanımlayıcı sıralaması olarak ifade edilebilir. Tablo 4'te içi dolu alanlar izin verilmeyen önceki bacak/sonraki bacak sıralamasını göstermektedir. Tablo 4'te yer alan 1, 2 ve 3 ise aşağıdaki maddeleri ifade etmektedir:

1. CF/DF veya DF/DF sıralaması sadece birinci bacak üzerinden uçulması amaçlandığında kullanılabilir, aksi halde alternatif kodlama kullanılması gerekir.
2. IF bacak yalnızca, her bir FA veya HM bacağının sonundaki irtifa kısıtlarının farklı olması durumunda kodlanır.
3. IF/RF kombinasyonuna sadece son yaklaşmanın başlangıcında izin verilmektedir.





Tablo 4. Yol Tanımlayıcı Sıralaması [10]

	Sonraki Bacak											
	IF	CA	CF	DF	FA	FM	HM	RF	TF	VA	VI	VM
Önceki Bacak	CA											
	CF				1							
	DF				1							
	FA											
	FM											
	HM											
	IF					2	2	2	3			
	RF											
	TF											
	VA											
	VI											
	VM											

Tablo 5. Gerekli Yol Tanımlayıcı Verileri [10]

Yol Sıradıncısı	Yol Noktası Tanıtıcısı	Uğrak Nokta	Dönüş Yönü	Önerilen Seyrüsefer Yardımcısı	Seyrüsefer Yardımcısına Mesafe	Seyrüsefer Yardımcısına Doğru	Manyetik Yol	Yol Uzunluğu	İrtifa Kısıtı 1	İrtifa Kısıtı 2	Hız Limiti	Dikey Açı	Yay Merkezi
CA			0				√		6		0		
CF	√	1	0	√	√	√	√		0	0	0	0	
DF	√	1	0	0	0	0			0	0	0		
FA	√		0	√	√	√	√		6		0		
FM	√		0	√	√	√	√		0		0		
HM	√		0	0	0	0	√	√	0		0		
IF	√			0	0	0			0	0	0		
RF	√	0	√	0		2	3	5	0	0	0	0	√
TF	√	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
VA			0				4		6		0		
VI		0	0	0			4		0	0	0		
VM	0		0				4		0		0		

√-Gerekli	1- Sadece CF/DF veya DF/DF kombinasyonları için gereklidir	3- Rotadan uzaklaşma	5- Rota boyunca mesafe
0-İsteğe bağlı	2- Rotaya yaklaşma	4- Yol harici uçuş başı	6- İrtifada veya üzerinde
İçerideki boş alanlar, yol tanımlayıcısı için geçerli olmayan verileri temsil eder.			

Yol tanımlayıcıların sıralanmasında aşağıdaki temel kurallar uygulanmaktadır:

- FA, CA ve VA bacakları, DF veya CF (DF tavsiye edilen) tarafından izlenmesi gerekir.
- TF'den uğrak noktaya (fly over) geçiş, TF veya CF tarafından izlenecektir.
- Uğrak noktadan sonra prosedürün DF'ye ihtiyacı varsa, önceki bacak CF veya DF olarak kodlanacaktır.
- DF rota, geçiş noktası (fly by) wp' i izlemez.
- RF bacağına başlangıcı ve sonundaki wp, uğrak nokta olarak kodlanmaz.

Tablo 5'te her bir yol tanımlayıcıyı desteklemek için gerekli olan veriler yer almaktadır. İçi dolu olarak gösterilen alanlar, bu yol tanımlayıcı için uygun olmayan veriyi göstermektedir. Örneğin, yay merkezi sadece RF yol tanımlayıcısı için gereklidir [10].

### 3. HARİTA GÖSTERİMİ

ICAO'nun aletli yaklaşma haritalarının tanımlanmasına ilişkin yayımladığı bültende, PBN yaklaşma haritalarının başlıkları 30 Kasım 2022'ye kadar RNAV (GNSS) RWY XX ve RNAV (RNP) RWY XX olabileceği gibi, alternatif olarak sırası ile RNP RWY XX ve RNP RWY XX (AR) şeklinde kullanılabilir. Ancak, 1 Aralık 2022'den itibaren alternatif olarak sunulan kullanım şekilleri geçerli olacaktır [13].

FMS için veri tabanı kodlamasında RNAV prosedürün açık, net, doğru ve anlaşılır şekilde ifade edilmesi gerekmektedir. Harita gösterimlerinde kısaltılmış ve çizelgeleme üzere iki yöntem kullanılmaktadır. Bu çalışmada, ilgili yol tanımlayıcıların harita üzerinde gösterimleri Samsun /Çarşamba Havalimanındaki 13 pist için açıklanacaktır.

Samsun/Çarşamba Havalimanı'nın 13 pisti RNAV (GNSS) aletli geliş prosedürüne göre farklı yönlerden giriş yapan trafiklerin takip edebileceği beş tane standart geliş yolu bulunmaktadır (DETOS 1T, BAFRA 1T, TERME 1T, HAVZA 1T ve ALMUS 1T). Haritanın sağ alt köşesinde, bu STAR'ları uygulayacak trafikler için köşeli parantezler içerisinde kısaltılmış açıklamalar verilmiştir. Kısaltılmış açıklamada, hız, rota ve irtifa ile ilgili kısıtlar gösterilmektedir. Bu kısıtların yol noktasının isminden önce gelmemesi durumunda, kısıta ulaşıncaya kadar en son hesaplanan rotada uçulacaktır (Şekil 1).

Her bir kısıt "UNNNNCD" formatında kodlanmaktadır. "U", aşağıdaki harflerden biri için kullanılabilir:

A: deniz seviyesi üzerindeki (AMSL-above mean sea level) irtifa (feet)

F: uçuş seviyesi

K: knot cinsinden işari hava hızı



M: manyetik derece

T: gerçek derece

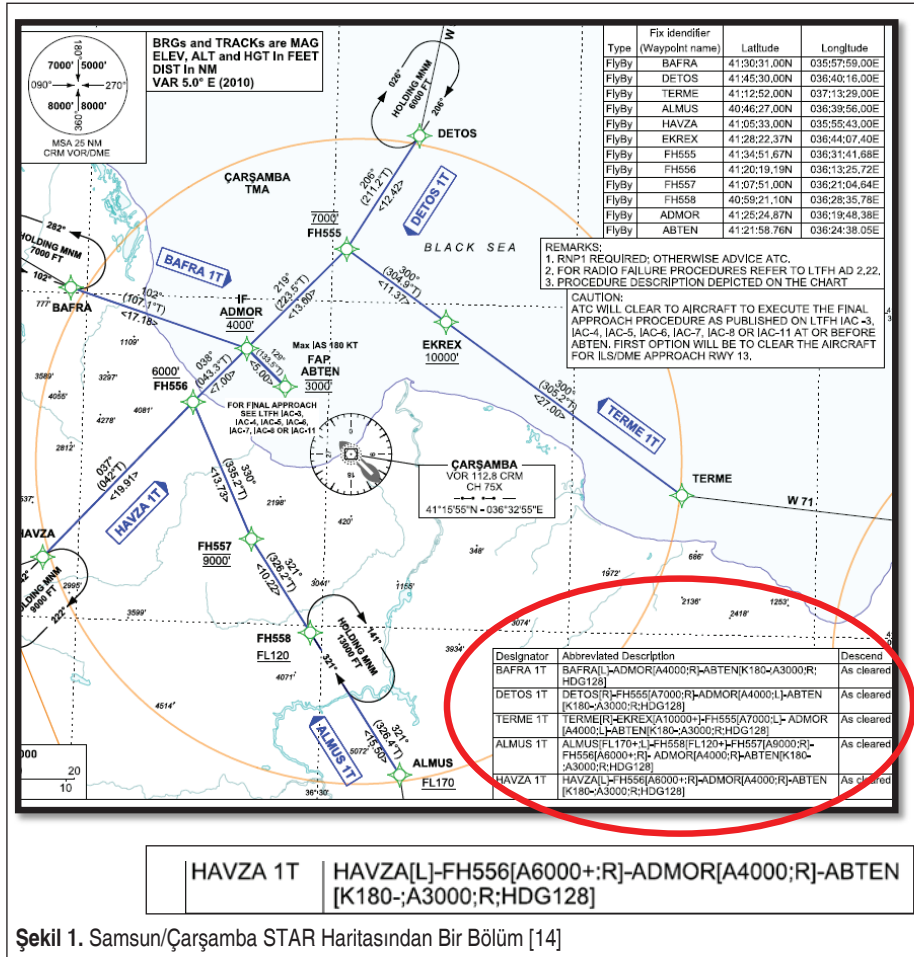
“NNNNN” formatı, 000’den 99999’e kadar bir sayıyı ifade etmektedir. “C”, aşağıdakilerden biri olabilir:

+ : -de, da veya üzerinde

- : -de, da veya altında

Boşluk: -de, da

“L”, sola dönüş; “R” ise sağa dönüşü ifade etmektedir. Birden fazla kısıt olması durumunda, kısıtlar noktalı virgül (;) ile birbirinden ayrılmalıdır. Tek bir yol noktası için

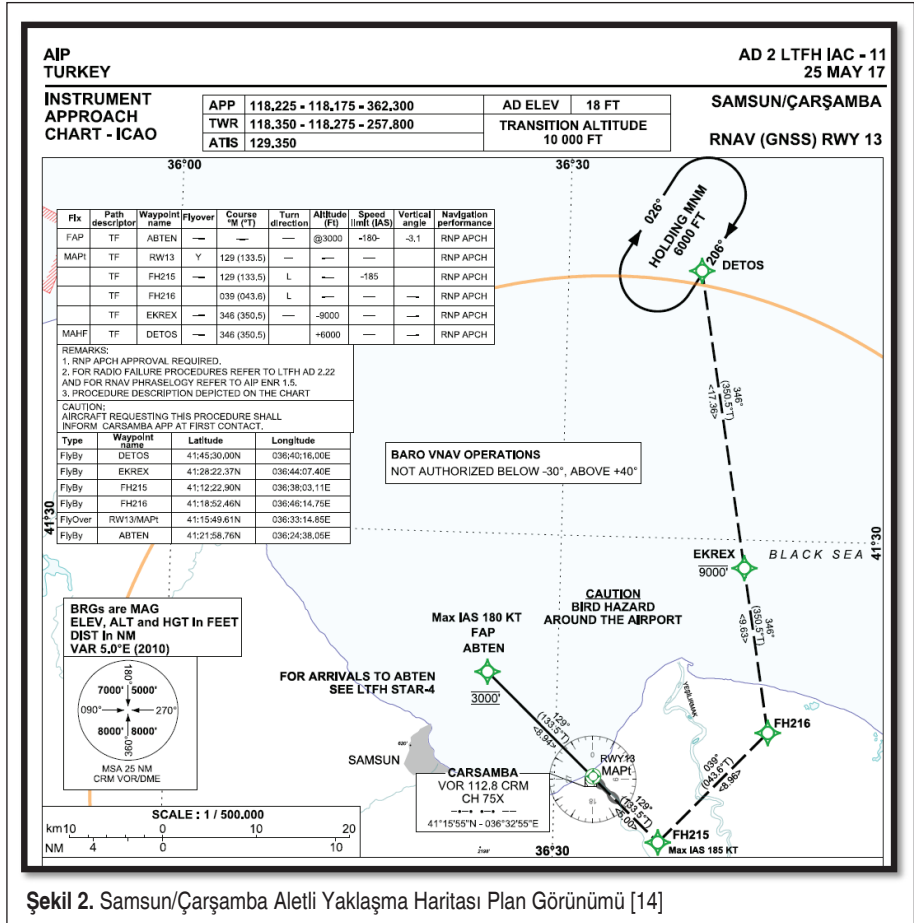


Şekil 1. Samsun/Çarşamba STAR Haritasından Bir Bölüm [14]

verilen kısıt tire (-) ile ayrılarak gösterilebilir; fakat sonraki bacağın DF gerektirmesi durumunda ok (→) işareti kullanılmalıdır [10].

Samsun/Çarşamba için ilan edilen HAVZA 1T STAR'ına göre, HAVZA noktasından terminal kontrol sahasına giren trafik, girişi takiben FH556 noktasına 6000 ft ve üzerinde uçacak, ADMOR noktasına ilerleyecek ve bu noktada 4000ft' te olacaktır. Daha sonra 128 uçuş başı için sağa dönecek ve ABTEN noktasına 180 kt hızla, 3000 ft' te olacak şekilde uçacaktır (Şekil 1).

Uçuş prosedürlerinin harita gösteriminde kullanılan çizelgeleme yönteminde ise yol tanımlayıcılar, yol noktası isimleri, yol noktası tipi, manyetik uçuş başı, dönüş yönü, varsa irtifa, hız kısıtları, dikey açı ve seyrüsefer performans gereklilikleri çizelge şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 2. Samsun/Çarşamba Aletli Yaklaşma Haritası Plan Görünümü [14]



Samsun/Çarşamba Havalimanı 13 pisti için RNAV (GNSS) aletli yaklaşma haritasında çizelge yöntemi kullanılmıştır. Son yaklaşma noktasından (FAP-Final Approach Point) pas geçme prosedürünün sonundaki DETOS bekleme noktasına kadar ilgili veriler çizelge halinde verilmiştir. Aynı zamanda yol noktalarının koordinatları da çizelgede yer almaktadır. Fiksler; FAP, pas geçme noktası (MAPt-Missed Approach Point), pas geçme bekleme noktası (MAHP-Missed Approach Holding Fix) olarak verilmiştir. Tüm yol tanımlayıcılar TF'dir. MAPt uğrak nokta, diğer fiksler ise geçiş noktası olarak belirlenmiştir. Dönüş yönü, hız ve irtifa tahditleri, dikey açı ve sağlanması gereken RNP seyrüsefer performansı gereklilikleri çizelgede verilmiştir (Şekil 2).

#### 4. SONUÇ

Terminal hava sahası operasyonları için RNAV sistem tarafından kullanılan tüm seyrüsefer verileri, seyrüsefer veritabanında tutulmaktadır. Bu veritabanı, havacılık standartları ARINC 424 Seyrüsefer Sistemi Veritabanı özelliklerine göre kodlanmış verilerden türetilmiştir.

ARINC 424 uçuş prosedür tasarımı için geliştirilmemiş olmakla birlikte; prosedür tasarımcılarının ilgili kodlamaları iyi derece bilmesi ve doğru şekilde kullanması, havacılık haritalarının da doğru şekilde yorumlanmasını sağlayacaktır [15].

Bu çalışmada, seyrüsefer sistemleri için haritalarda belirtilen rotaların uygun kodlara çevrilmesinde kullanılan yol tanımlayıcı kavramı anlatılmıştır. Yol tanımlayıcıların kullanımı ve havacılık haritaları üzerinde gösterim şekilleri olan kısaltılmış ve çizelgeleme yöntemleri örnek üzerinde açıklanmıştır.

#### KAYNAKÇA

1. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2008. Doc 9613, Performance-Based Navigation (PBN) Manual, Canada.
2. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2013. Doc 9997, Performance-Based Navigation (PBN) Operational Approval Manual, Canada.
3. Federal Aviation Administration (FAA). 2017. "Performance Based Flight Systems Branch Performance Based Navigation (PBN) Guidance & Approval," [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/avs/offices/afs/afs400/afs470/pbn/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/afs/afs400/afs470/pbn/), son erişim tarihi: 03.07.2017.
4. **Miller, S.** 2009. "Contribution of Flight Systems to Performance Based Navigation," *Aero-Quarterly*, p. 21-28.

5. **Herndon, A. A., Cramer, M., Nicholson, T., Miller, S.** 2010. “Analysis of Advanced Flight Management Systems (FMS), Flight Management Computer (FMC) Field Observations Trails; Standard Instrument Departures,” The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 3-7 October 2010, Salt Lake City, USA.
6. Federal Aviation Administration (FAA). 2016. “Airborne Navigation Database,” [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/instrument\\_procedures\\_handbook/media/Chapter\\_6.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/instrument_procedures_handbook/media/Chapter_6.pdf), son erişim tarihi: 17.03.2016.
7. **Herndon, A. A., Cramer, M., Sprong, K., Mayer, R. H.** 2007. “Analysis of Advanced Flight Management Systems (FMSs), Flight Management Computer (FMC) Field Observations Trials, Vertical Path,” The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), 21-25 October 2007, Dallas, USA.
8. **Herndon, A. A.** 2012. “Flight Management Computer (FMC) Navigation Database Capacity,” Integrated Communications Navigation and Surveillance (ICNS) Conference, 24-26 April 2012, Virginia, USA.
9. **Haag, M.** 2016. “Flight Management Systems- Databases,” [http://www.ohio.edu/people/uijtdeha/ee6900\\_fms\\_07\\_databases.pdf](http://www.ohio.edu/people/uijtdeha/ee6900_fms_07_databases.pdf), son erişim tarihi: 16.03.2016.
10. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2014. Document 8168-Procedures for Air Navigation Services Aircraft Operations Volume II, Sixth Edition, ICAO, Canada.
11. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2015. Development and Validation of Procedures, Celebrating 70 Years of the Chicago Convention, 7-10 April 2015, Canada.
12. ICAO. 2009. “RNAV (GNSS) Procedures and ARINC 424,” <http://www.icao.int/SAM/Documents/2009/SAMIG4/presentacion%20jeppesenPeru%20ICA0%20PBN%202009.pdf>, son erişim tarihi: 20.02.2016.
13. International Civil Aviation Organization (ICAO). 2017. “Transition to RNP Chart Instrument Approach Depiction,” Electronic Bulletin, EB 2017/5, Canada.
14. Devlet Hava Meydanları İşletmesi (DHMI). 2017. “Aeronautical Information Publication (AIP),” <http://ssd.dhmi.gov.tr/ANSLogin.aspx>, son erişim tarihi: 16.06.2017.
15. Eurocontrol and Federal Aviation Administration (FAA). 2010. “Procedure Modelling & Encoding,” <http://www.aixm.aero/document/aixm-xml-developers-seminar-6>, son erişim tarihi: 03.07.2017.

# Aracın Yalpa Karakteristiğinin Taşıt Dinamiğine Olan Etkisinin Analitik ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi

Enis Gögen <sup>\*1</sup>

Emre Sert <sup>2</sup>

Gurkan Tutu <sup>3</sup>

## ÖZ

Bir aracın süspansiyon sistemi parametreleri, aracın dinamik karakteristiğini oluşturan konfor ve yol tutuş özellikleri dikkate alınarak belirlenir. Konforlu bir sürüş için gerekli olan dikey yaylanma parametreleri, iyi bir yol tutuş kabiliyeti için tek başına yeterli değildir. Bu iki özelliği bir arada sağlamak için aracın viraj kabiliyetini artırıcı ilave önlemler alınması gerekir. Bu çalışmada, bir midibüsün konfor özelliğini sağlayan ön ve arka aks dikey doğal frekansları farklı yay katsayıları için hesaplanmış, ön ve arka aks doğal frekanslarının birbirlerine olan oranları sabit tutularak aracın viraj dönme karakteristiği incelenmiştir. MSC Adams yazılımında tam araç modeli kurulmuş ve oluşturulan viraj senaryosu ile aracın farklı süspansiyon parametreleri için yalpa karakteristiği belirlenmiştir. Viraj dönme esnasında oluşan yanıl ivmenin yalpa açısına oranı aynı kalacak şekilde viraj denge çubuğu kullanımının araç dinamiğine olan etkisi incelenmiş, konfor ve yol tutuş arasındaki ilişki ortaya koyulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Süspansiyon sistemi, konfor, yol tutuş, tam araç modeli, yalpa karakteristiği

## Investigating the Effect of Vehicle Roll Characteristics to Vehicle Dynamics with Analytical and Numerical Methods

### ABSTRACT

Suspension system parameters of a vehicle are defined by considering the ride and handling attributes which are based on vehicle's dynamic characteristics. For a comfortable ride, required vertical springing parameters are not only enough for a good handling. In order to provide two attributes together, additional preventions should be taken that improves cornering capability. In this study, front and rear axle vertical ride frequencies of a midibus are calculated for different spring stiffness values, cornering characteristics of the vehicle is investigated by keeping the ratios of front and rear axle ride frequencies constant. Full vehicle model is set up by using MSC Adams software, and vehicle rolling characteristics is defined for different suspension parameters by performing cornering scenario. The effect of antiroll bar usage over vehicle dynamics is investigated by keeping the ratio of lateral acceleration and rolling angle constant, then the relation between the ride and handling is presented.

**Keywords:** Suspension system, ride, handling, full vehicle model, roll characteristics

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 04.02.2017

Kabul/Accepted : 24.08.2017

<sup>1</sup> Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., AR-GE Merkezi, Kocaeli - enis.gogen@isuzu.com.tr

<sup>2</sup> Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., AR-GE Merkezi, Kocaeli - emre.sert@isuzu.com.tr

<sup>3</sup> Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş., AR-GE Merkezi, Kocaeli - gurkan.tutu@isuzu.com.tr

## 1. GİRİŞ

Süspansiyon sistemleri, bir diğer adıyla askı sistemleri, araç gövdesi ile tekerlekler arasındaki bağlantıyı sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler, yol düzgünsüzlüklerine karşı tekerleğin devamlı yol ile temasını sağlarken, diğer yandan bu düzgünsüzlükler üzerinde ilerleyen tekerleklerin gövdeye ilettiği titreşimleri sönümlerler. Titreşim sönümlenme olayı, araç gövdesi içinde yolculuk eden kişiler tarafından araç konforu olarak algılanmak ile birlikte, tekerleğin yol ile devamlı temasının sağlanması olayı yol tutuş olarak adlandırılabilir. Her ne kadar bir süspansiyon sisteminin görevi bu iki özelliği birlikte sağlamak olsa da iyi bir konfor ve yol tutuş için gerekli parametreler birbirlerinin zıttı olarak karşımıza çıkmaktadır. Yani konforlu bir sürüş için kurgulanan süspansiyon sisteminde yol tutuşun yeterli seviyede olmadığı görülür. Els ve diğerleri [1] yaptıkları çalışmalarda bu iki özellik arasındaki zıtlasmayı vurgularken, Gillespie [2] taşıt dinamiği temellerini anlattığı eserinde, iyi konfora sahip taşıtların yol tutuş özelliklerini arttırmak için süspansiyon sistemlerinde stabiliteyi sağlayacak ilave elamanların kullanılması gerekliliğini belirtmiştir.

Süspansiyon sistemlerinin temel elemanları yay ve amortisör çiftleridir. Rijit tip süspansiyon sistemlerinde bu iki eleman aks ve gövde arasına tertiplenirken, bağımsız süspansiyon sistemlerinde yay ve amortisör çifti askı kolları ile gövde arasında görev yapar. Aracın dikey yöndeki doğal frekansı, kullanılan yay elemanının katsayısı ile doğru orantılıdır. Yay katsayısı ne kadar yüksek ise aracın dikey yöndeki doğal frekans değeri de o oranda yükselir. Konfor algısı, her ne kadar kişiden kişiye değişse de konforlu bir sürüş için insan vücudunun dayanabileceği bir doğal frekans aralığı vardır. Kirsten yüksek lisans tezinde, konfor algısının sadece frekans ile değerlendirilemeyeceğini, dikey yöndeki ivmenin ve titreşim periyodunun da bu duruma etkisi olduğunu ortaya koymuştur [3]. Yol düzgünsüzlükleri karşısında araç gövdesinde oluşacak dikey yöndeki ivmeler ile titreşim periyodu, süspansiyon sisteminde kullanılan yay katsayısı ile ilişkili olduğu kadar sistemde kullanılan amortisör sönüm kuvvetleri ile de ilişkilidir. Düşük dikey doğal frekans değerine sahip bir sistem, yumuşak yalpanma özelliğine sahip olmaktadır, ancak aracın viraj dönmesi sırasında virajın dışında kalan tekerlekleri üzerinde oluşacak yük transferi nedeni ile araç gövdesinde yüksek yalpa açısı da oluşacaktır. Bu durum yüksek hızlarda aracın devrilmesine neden olabilir. Araç gövdesinde oluşacak yüksek yalpa açısını düşürmek için süspansiyon sistemlerinde ilave tedbir olarak viraj denge çubukları kullanılmaktadır.

Araçların dinamik davranışlarını incelemek için uygun bir araç modeli kurmak gerekir. Louca ve diğerleri [4], taşıt mobilitesi ve yol yutuş için uygun taşıt modeli kurulması gerekliliğini yaptıkları çalışmalarda belirtmişlerdir. Uys ve diğerleri [5], en verimli sonuçların tam araç modeli ile belirlenebileceğini belirtirken; Zehsaz ve diğerleri [6], bunu destekler nitelikte, tam taşıt modeli ile aracın 3 yönde ve 3 ekseninde (boyuna, enine, dikine) reaksiyonlarının tespit edilebileceğini anlatmışlardır.

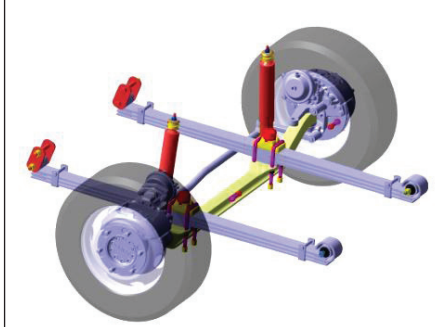




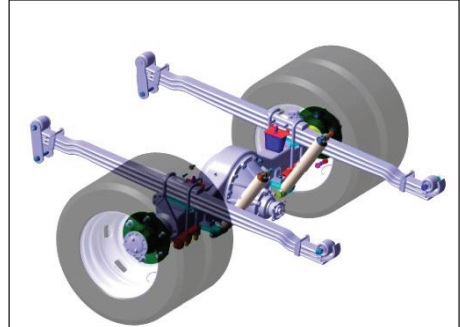
Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen kriterlere göre yumuşak yaylanmadan sert yaylanmaya doğru üç farklı senaryo oluşturulmuş, her bir senaryo için yay katsayıları belirlenmiş ve bu katsayılarının oluşturduğu dikey doğal frekanslar hesaplanmıştır. Tam araç modeli kurularak aracın viraj karakteristiği incelenmiş ve MSC Adams yazılımından elde edilen sonuçlar ile analitik hesaplamalar özdeşleştirilmiştir. Sonrasında, yaratılan bu üç senaryo için viraj denge çubuğunun kullanımı ve fiziksel boyutlarının yol tutuşa olan etkisi belirlenmiştir.

## 2. SÜSPANSİYON SİSTEMİ PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

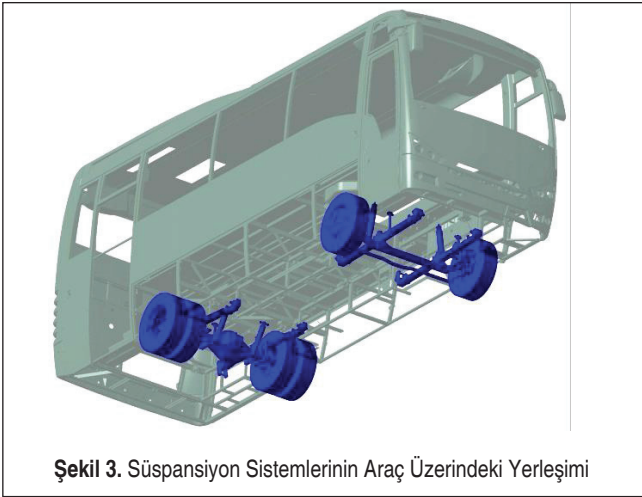
Araçta kullanılan ön süspansiyon sistemine ait görsel Şekil 1’de, arka süspansiyon sistemine ait görsel Şekil 2’de, süspansiyon sistemlerinin araç üzerindeki yerleşimi Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 1. Ön Süspansiyon Sistemi



Şekil 2. Arka Süspansiyon Sistemi



Şekil 3. Süspansiyon Sistemlerinin Araç Üzerindeki Yerleşimi

Ön ve arka süspansiyon sistemindeki yay katsayıları belirlenirken, yol düzgünsüzlüklerinde aracın daha dengeli seyredebilmesi için, arka süspansiyon sisteminin dikey yöndeki doğal frekans değerinin ön süspansiyon sisteminin dikey yöndeki doğal frekans değerine göre daha yüksek bir değer seçilmesi önerilir [7]. Olley [8], bunun ile ilgili deneysel testler yaparak arka süspansiyon sistemi dikey yöndeki doğal frekans değerinin öne göre %30 oranına kadar arttırılabileceğini göstermiştir. Doğal frekansların birbirlerine oranı araç tasarımcısının kendi inisiyatifinde olmak ile birlikte, bu çalışmada, üç farklı durum oluşturulmuş ve kıyaslanın kolay anlaşılabilir olması adına yay katsayıları, arka süspansiyon sisteminin dikey yöndeki doğal frekansını öne göre %18 daha yüksek tertipleyecek değerler olarak belirlenmiştir. Oluşturulan durumlardan, “Durum 2” standart yaylanmayı temsil ederken, “Durum 1” yumuşak yaylanmayı, “Durum 3” ise sert yaylanmayı temsil etmektedir. Dikey yöndeki doğal frekans hesabı aşağıda verilen formüller ile hesaplanmaktadır. (1) ve (2) numaralı formüllerde geçen “k” yay katsayısı, “kt” tekerlek eksenine indirgenmiş yay katsayısı, “i” aks hareket oranı, “f” dikey yöndeki doğal frekans, “m” yaylandırılan kütleli ifade etmektedir. İndisel notasyonlar “ö” ön ve “a” ise arka için kullanılmaktadır.

$$k_{\bar{o},a} = k_{t(\bar{o},a)} \cdot (i_{\bar{o},a})^2 \quad (1)$$

$$f_{\bar{o},a} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k_{t(\bar{o},a)}}{m_{\bar{o},a}}} \quad (2)$$

Üç duruma ait parametreler, bu parametrelere göre hesaplanan frekans değerleri ve ön-arka frekans oranları Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Süspansiyon Sistemi Parametreleri ve Doğal Frekans Değerleri

	Durum 1	Durum 2	Durum 3
$k_o$ (N/mm)	107.9	169.7	220.7
$m_o$ (kg)	3548.3		
$i_o$	1		
$k_a$ (N/mm)	240.3	377.7	498.3
$m_a$ (kg)	5718		
$i_a$	1		
$f_o$ (Hz)	1.24	1.56	1.78
$f_a$ (Hz)	1.46	1.83	2.10
$f_a/f_o$	1.18	1.18	1.18

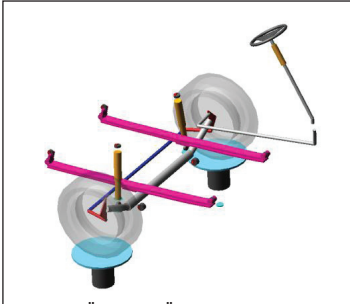


### 3. TAM ARAÇ MODELİ

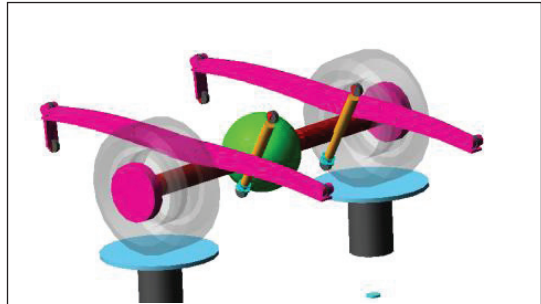
Araçın yalpa karakteristiğini incelemek adına MSC Adams/Car yazılımı kullanılarak tam araç modeli kurulmuştur. Araç ağırlığı, ağırlık merkezi koordinatları ile süspansiyon sistemine ait parametrelerin doğru modellenmesi, sanal modelden elde edilecek sonuçların doğruya en yakın olmasını sağlayacaktır. Bu nedenle her alt sistem ayrı ayrı modellenerek birleştirilmiştir. Araçın, gövde, aks, motor ağırlık ve kütle ataletleri ile aks - şasi bağlantı koordinatları modele aktarılmıştır [9].

#### 3.1 Ön, Arka Süspansiyon Sistemleri ve Direksiyon Sisteminin Modellenmesi

Şekil 4 ve 5'te görüleceği üzere, arka ve ön süspansiyon sistemi rijit olarak modellenmiş, her süspansiyon sistemindeki alt parçaların ağırlık ve 3 eksendeki atalet bilgileri modele aktarılmıştır. Şekil 1 ve Şekil 2'deki bilgisayar destekli tasarım (CAD) verileri üzerindeki uzuvların birleşim bölgelerinden noktalar alınarak Adams/Car'a aktarılmış ve model oluşturulmuştur. Her uzvun birbirine göre hareketi ve serbestlik derecesine göre mafsallar tanımlanarak kinematik sistem tamamlanmıştır. Yaylar ve amortisörlerle ait parametrik değerler, nonlinear olarak tanımlanmıştır [9].



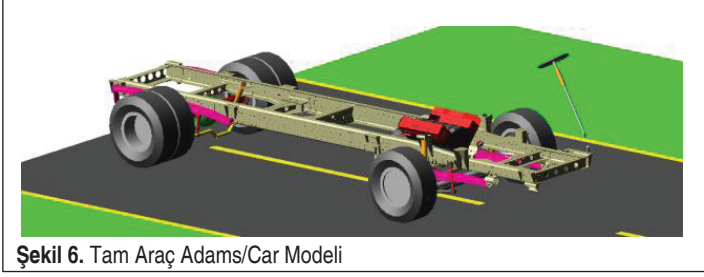
**Şekil 4.** Ön Aks, Ön Süspansiyon Sistemi ve Direksiyon Sistemi (Adams/Car Modeli)



**Şekil 5.** Arka Aks, Arka Süspansiyon Sistemi (Adams/Car Modeli)

#### 3.2 Tam Araç Modelinin Tamamlanması

Araç gövdesinin CAD datası uygun formatta Adams/Car'a aktarılarak alt sistem oluşturulmuştur. Ön/arka aksın, direksiyon sisteminin ve motorun gövdeye bağlanmasını sağlayan ve dinamik hareket sırasında kuvvet aktarımı gerçekleştiren haberleşme elemanları tanımlanmıştır. Böylece, montaj sırasında bağlantı noktalarındaki haberleşme elemanları birbirleri ile eşleşir ve hiç bir alt sistem bağımsız hareket edememektedir. Ayrıca kuvvet, moment, deplasman, ivme vb. değişken parametreler bir alt sistemden diğer alt sisteme aktarılabilir. Araçın aks açıklığı, yerden yüksekliği gibi araç teknik özellikleri dikkate alınarak tam araç modeli oluşturulmuştur [9]. Şekil 6'da, tam araca ait Adams/Car modeli gösterilmektedir.

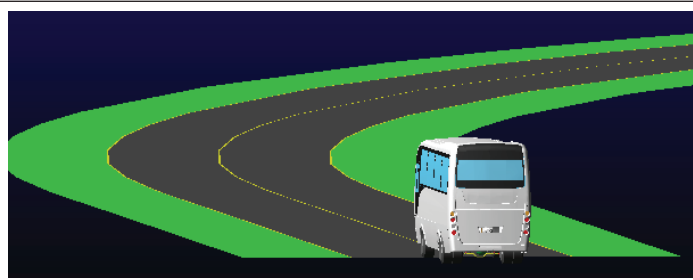


Şekil 6. Tam Araç Adams/Car Modeli

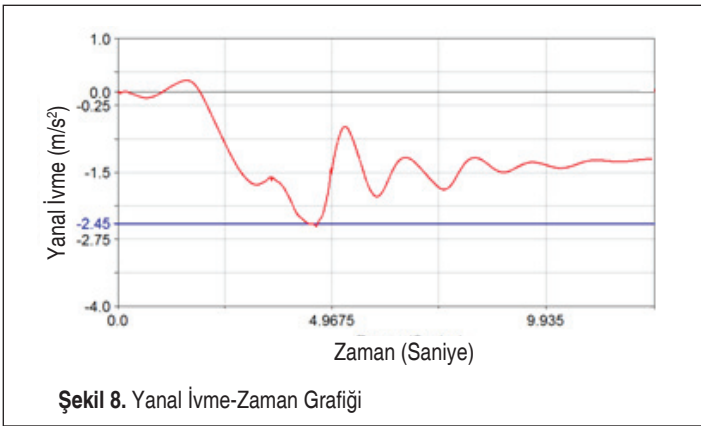
#### 4. ARACIN YALPA KARAKTERİSTİĞİ

Aracın 60 km/h hız ile 150 m yarıçapındaki bir virajı döneceği senaryoda (Şekil 7) gövde yalpa açısı bulunacaktır. Bu çalışmada, II. bölümde ifade edilen üç farklı durum (Durum 1, Durum 2 ve Durum 3) için tekrarlanarak yay katsayılarının tek başına gövde yalpa açısına etkisi tayin edilecektir.

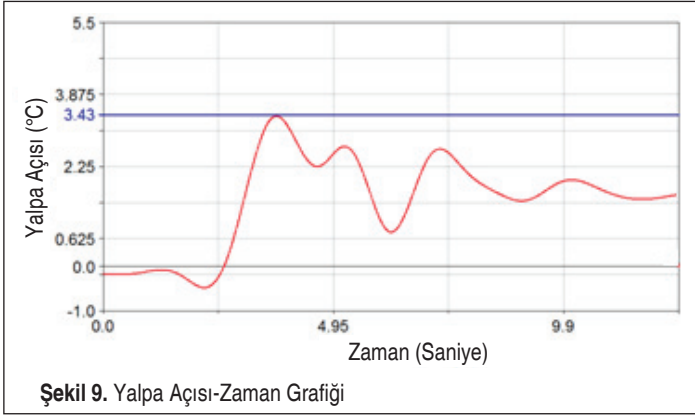
Hesaplamalara girdi teşkil etmesi açısından tam araç modeli standart yaylanmayı temsil eden “Durum 2”ye ait parametreler ile belirlenen bu viraj senaryosunda kullanıla-



Şekil 7. Viraj Senaryosu



Şekil 8. Yanal İvme-Zaman Grafiği



rak manevra esnasında aracın maruz kaldığı yanal ivme-zaman grafiği çıkarılmıştır. Şekil 8’de verilen grafik sonucuna göre araç en fazla  $2.45 \text{ m/s}^2$  ( $0.25 \text{ g}$ ) yanal ivmeye maruz kalmaktadır.

Gerçekleştirilen simülasyon ile araçta oluşan yalpa açısı belirlenmiştir. Yalpa açısı-zaman grafiği Şekil 9’da görülmektedir. Buna göre, viraj dönme esnasında araç gövdesinde en fazla  $3.43^\circ$ ’lik bir yalpa açısı meydana gelmektedir.

Bir araçta kullanılan yaylar, araç tekerlekleri ve viraj denge çubuğu aracın yalpa karakteristiğini etkileyen ana elemanlardır. Bu elemanlara ait parametrelerin yalpa açısına etkisi olduğu kadar elemanların araç üzerindeki konumları, yani yaylar arası mesafe, tekerlek iz genişlikleri ve viraj denge çubuğu kolları arası mesafenin de yalpa açısını etkilediği görülmektedir. Aynı zamanda süspansiyon sistemlerinin geometrik kurgusu ön ve arka yalpa merkezlerini tayin etmektedir, ve araç bu iki merkezi birleştiren eksen etrafında yalpa yapmaktadır.

Aşağıda verilen (3) numaralı formül ile aracın her üç durumdaki gövde yalpa açısı hesaplanmıştır. Formülde geçen “M” newton cinsinden yaylandırılan kütle, “h” ağırlık merkezi yerden yüksekliği, “ $h_R$ ” yalpa merkezi yerden yüksekliği, “ $C_Y$ ” yay burulma katsayısı, “ $C_T$ ” tekerlek burulma katsayısı, “ $C_{Ve}$ ” viraj denge çubuğu efektif burulma katsayısı, “ $a_y$ ” yanal ivme, “g” yerçekimi ivmesi, “ $\gamma$ ” yalpa açısı olarak ifade edilmektedir. Viraj dönme esnasında tekerleklerde oluşacak yanal kaymanın da etkisi ile tekerlek dikey yay katsayıları nonlineer olarak değişmektedir. Bu nedenle formülasyona “ $\emptyset$ ” düzeltme faktörü eklenmiştir. Düzeltme faktörü, yapılan nümerik hesaplamaların simülasyon sonuçları ile eşleşmesini sağlar. İndisel notasyonlar “ $\ddot{o}$ ” ön, “a” arka için kullanılacaktır.

$$\gamma = \frac{[M_{\ddot{o}} \cdot (a_y / g) \cdot (h_{\ddot{o}} - h_{R\ddot{o}})] + [M_a \cdot (a_y / g) \cdot (h_a - h_{Ra})]}{[(C_{Y\ddot{o}} + C_{Ya}) + \emptyset \cdot (C_{T\ddot{o}} + C_{Ta}) + (C_{Ve\ddot{o}} + C_{Vea})] - [(M_{\ddot{o}} \cdot (h_{\ddot{o}} - h_{R\ddot{o}})) + (M_a \cdot (h_a - h_{Ra}))]} \quad (3)$$

“Durum 2” için simülasyon sonucu bulunan yalpa açısını sağlayan “Ø” düzeltme faktörü belirlenmiş, diğer iki durum için de bulunan bu değer kullanılarak oluşan yalpa açıları hesaplanmıştır. Üç duruma ait parametreler ve hesaplanan yalpa açısı değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Araç Parametreleri ve Yalpa Açısı Değerleri

	Durum 1	Durum 2	Durum 3
$M_o$ (N)	34808.8		
$M_a$ (N)	56093.6		
$h_o$ (m)	1.26		
$h_{Ro}$ (m)	0.42		
$h_a$ (m)	1.26		
$h_{Ra}$ (m)	0.48		
$C_{Yo}$ (Nm/rad)	41783	65713	85465
$C_{Ya}$ (Nm/rad)	117781	185085	244215
$\emptyset \cdot C_{To}$ (Nm/rad)	51022.5		
$\emptyset \cdot C_{Ta}$ (Nm/rad)	76027.8		
$C_{Veo}$ (Nm/rad)	0	0	0
$C_{Vea}$ (Nm/rad)	0	0	0
$a_y$ (m/s <sup>2</sup> )	2.45		
$a_y / g$	0.25		
$\gamma$ (°)	4.89	3.43	2.72

## 5. STABİLİTENİN ARTTIRILMASI

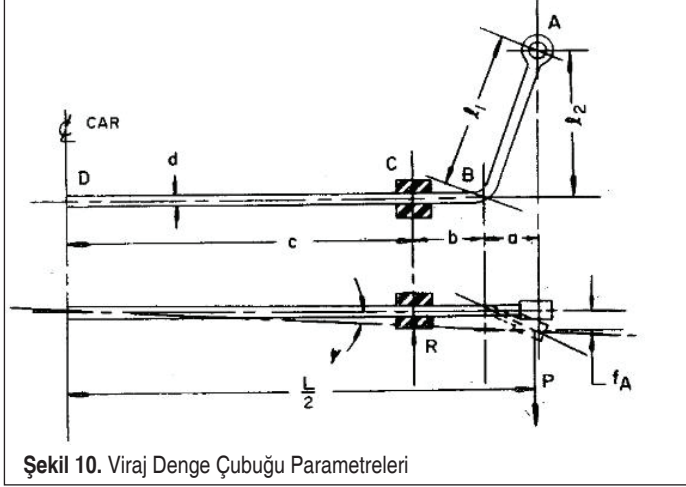
Güvenli bir sürüş için yalpa açısı değerinin yanal ivme değerine oranı %60’dan fazla olmamalıdır [10]. Tablo 2’deki değerlere bakıldığı zaman, üç durum için yalpa açısının yanal ivmeye oranları sırasıyla 2, 1.4, 1.1 olduğu görülmektedir. Yani sert yaylanmayı temsil eden “Durum 3”te dahi bu oran %110’dır. Bu orana bakarak, sadece yaylar ile güvenli bir yol tutuşun sağlanamadığı ve viraj denge çubuğu kullanımının gerekliliği görülmektedir.

Bir viraj denge çubuğuna ait burulma katsayısı hesabı (4) numaralı formülde verilmiştir [11]. Formülde geçen parametreler Şekil 10’da tariflenmektedir.

$$C_V = \frac{3EIL^2}{2 \left[ L_1^3 - a^3 + \frac{L}{2}(a+b)^2 + 4L_2^2(b+c) \right]} \quad (4)$$



Viraj denge çubuğu burulma katsayısı “Cv”yi hesaplamada kullanılacak olan “L, L<sub>1</sub>, L<sub>2</sub>, a, b, c, d” parametreleri Şekil 10’da görülmektedir. Bunun haricinde, “E” Young modülünü, “I” kesit atalet momentini ifade eder.



Şekil 10. Viraj Denge Çubuğu Parametreleri

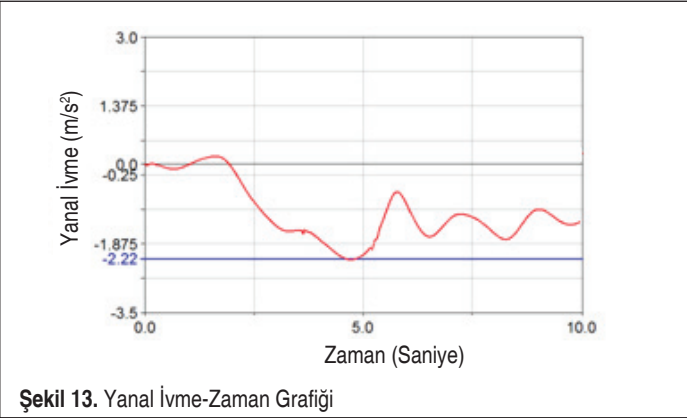
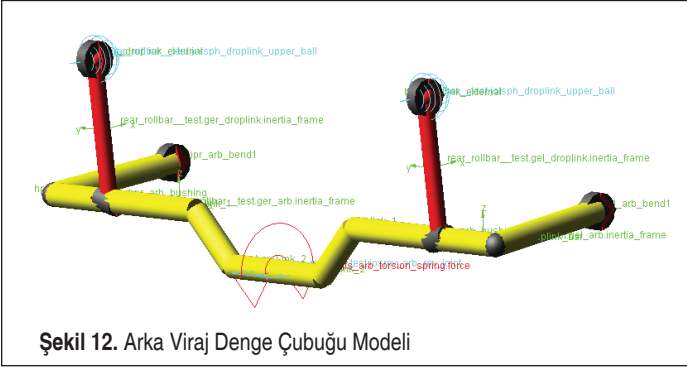
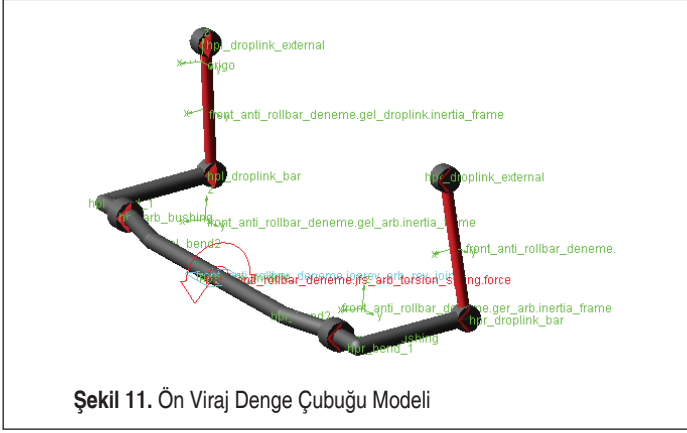
Viraj denge çubukları araç gövdelerine kauçuk elemanlar vasıtası ile yataklanır. Kauçuk elemanların sert veya yumuşak olmasına göre viraj denge çubuğunun araçtaki burulma etkisi %15-30 arası bir oranda azalma gösterir [11]. Bu nedenle, yalpa açısı hesaplamada kullanılan (3) numaralı formülde “C<sub>ve</sub>” viraj denge çubuğu efektif burulma katsayısı kullanılmaktadır. Katsayılar arasındaki ilişki (5) numaralı formül ile gösterilmiştir. Formülde geçen “β” efektif katsayıdır ve yukarıda bahsedildiği gibi, 0.7 ile 0.85 arasında değişim gösterebilir.

$$C_{V(\delta,a)} = \beta \cdot C_{Ve(\delta,a)} \quad (5)$$

Tam araç modeli de viraj denge çubukları modellenerek güncellenmiştir. Aracın paketleme hacmine uygun olarak kullanılacak konstrüktif değerler belirlenmiş ve modele aktarılmıştır. Ön ve arka süspansiyon sistemine eklenen viraj denge çubuğu modelleri sırasıyla, Şekil 11 ve Şekil 12’de görülmektedir.

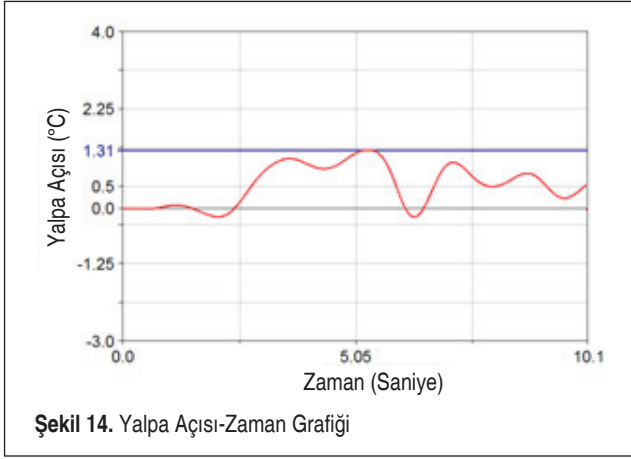
Güncellenen tam araç modeli “Durum 2” için Şekil 7’deki viraj senaryosunda simule edilmiş, yanal ivme ve yalpa açısı değerleri belirlenmiştir. İlk hesaplamalara göre ön ve arka viraj demiri çapları 40 mm olacaktır, simulasyon sonuçlarına göre çapların uygunluğu da kontrol edilecektir.

Viraj senaryosunun uygulandığı simulasyon sonuçlarına göre, araç en fazla 2.22 m/s<sup>2</sup> (0.226 g) yanal ivmeye maruz kalırken, oluşan yalpa açısı değeri en fazla 1.31° olmaktadır. Yalpa açısının yanal ivmeye oranının %59 olduğu ve %60’lık sınırın içinde



kaldığı görülmektedir. Buradan “Durum 2” için 40 mm çapındaki viraj denge çubuğu kullanımının uygun olduğu anlaşılmaktadır. Yanal ivme-zaman grafiği Şekil 13’te, yalpa açısı-zaman grafiği Şekil 14’te paylaşılmıştır.





2.22 m/s<sup>2</sup> yanal ivme değerinde 1.31°'lik yalpa açısı elde etmek için, (3) numaralı formül kullanılarak, toplamda 416561 Nm/rad değerinde viraj demiri efektif burulma katsayısına ihtiyaç olduğu belirlenmiştir. Bu değer ön ve arka viraj denge çubuklarının efektif burulma katsayıları toplamına eşittir. Tablo 3, “Durum 2” için ön ve arkada kullanılan 40 mm çapındaki viraj denge çubuklarının parametrelerini ve burulma katsayılarını vermektedir.

Tablo 3'te görüldüğü gibi, ön ve arkada toplamda 578557.2 Nm/rad değerinde viraj demiri burulma katsayısı hesaplanmıştır. Yukarıda verilen 416561 Nm/rad viraj demiri efektif burulma katsayısına ulaşabilmek için 0.72 değerinde efektif katsayıya ihti-

**Tablo 3.** Durum 2'ye Ait Viraj Denge Çubuğu Parametreleri ve Burulma Katsayıları

	Ön	Arka
E (Mpa)	200 000	
L1 (mm)	230	250
L2 (mm)	230	250
L (mm)	990	1060
a (mm)	0	0
b (mm)	110	90
c (mm)	385	440
d 'Çap' (mm)	40	
I (mm <sup>4</sup> )	125663.7	125663.7
Cv (Nm/rad)	300645.7	277911.5

**Tablo 4.** Üç Durum İçin Kullanılan Viraj Denge Çubuğu Çapları ve Oluşan Yalpa Açısı Değerleri

	Durum 1	Durum 2	Durum 3
d "Çap" (mm)	42	40	38
$C_{Veo}$ (Nm/rad)	263114	216465	176312
$C_{Vea}$ (Nm/rad)	243218	200096	162980
$a_y$ (m/s <sup>2</sup> )	2.22		
$a_y / g$	0.226		
$\gamma$ (°)	1.31	1.31	1.31

yaç vardır. Hesaplanan bu efektif katsayısı "Durum 1" ve "Durum 3" için yapılacak yalpa açısı hesabında da kullanılacaktır. Her üç durum için de hesaplanan yalpa açısı değerleri Tablo 4'te verilmektedir. Bu hesaplamalarda "M" yaylandırılan kütle, "h" ağırlık merkezi yerden yüksekliği, "h<sub>R</sub>" yalpa merkezi yerden yüksekliği, "C<sub>Y</sub>" yay burulma katsayısı, "C<sub>T</sub>" tekerlek burulma katsayısı ve "Ø" düzeltme faktörü Tablo 3'te verilen değerler ile aynı olduğundan, Tablo 4'te sadece "d" viraj denge çubuğu çapı, "C<sub>Ve</sub>" viraj denge çubuğu efektif burulma katsayısı, "a<sub>y</sub>" yanal ivme, "g" yerçekimi ivmesi, "γ" yalpa açısı değerleri paylaşılmıştır.

"Durum 1", "Durum 2", "Durum 3" için ön ve arka viraj denge çubuklarının çaplarının sırasıyla 42 mm, 40 mm, 38 mm olduğu senaryolarda 1.31°'lik yalpa açısına ulaşılmıştır. Her üç durum için de yalpa açısının yanal ivmeye oranı %59 olarak bulunmuş ve yol tutuş özellikleri güvenlik sınırı içine çekilmiştir.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada, yumuşak yaylanma, standart yaylanma ve sert yaylanma özelliği olarak tanımlanan üç farklı konfor özelliğine ayrı ayrı sahip olduğu varsayılan bir araca ait yayların tek başına yalpa karakteristiğine olan etkisi incelenmiştir. Konforsuzluk algısının en üst limiti olan Durum 3'te dahi araç yalpa karakteristiğinin yol tutuş için emniyetsiz sınırdaki olduğu görülmüş ve viraj denge çubuğu kullanımının yalpa karakteristiğine olan pozitif etkisi belirtilmiştir. Araçların dikey yöndeki doğal frekans değerleri ne kadar düşerse, aracın yalpa açısının aynı oranda yükseldiği, ön ve arka süspansiyon sistemlerinde kullanılması gereken viraj denge çubuğu çaplarının da artması gerektiği yapılan hesaplamalar neticesinde saptanmıştır. Viraj denge çubuklarının kaçuk elemanlar vasıtasıyla araç gövdesine yatakladığı unutulmamalı ve hesaplarda viraj denge çubuğu efektif burulma katsayısı değerleri kullanılmalıdır. Azalan yay katsayıları neticesinde artan viraj denge çubuğu çapları, aracın engel geçişleri sırasında süspansiyon sisteminde oluşacak artikülasyonlarda viraj denge çubuğu üzerinde



düşük çaplara nazaran daha yüksek gerilmeler oluşmasına neden olacaktır. Aynı zamanda büyük çaplı viraj denge çubuğunun araç gövdesine ileteceği reaksiyon kuvveti de fazladır. Bu durum yapısal deformasyonlara neden olabilir. İlave olarak, viraj denge çubuklarında çapın büyümesi ağırlık artışı, birim maliyet artışı, kullanılan kauçuk yataklama elemanının büyümesi gibi sonuçlar da doğuracaktır. Konfor ve yol tutuş hedefi her araç imalatçısının kendi belirleyeceği bir husustur. Bu çalışma, ağırlıkları verilen bir aracın farklı konfor parametreleri için güvenli yol tutuşun sağlanmasında hangi özellikte viraj denge çubuklarının kullanılması gerekliliğini ortaya koymuştur.

## KAYNAKÇA

1. **Els, P. S.** 2005. "The Applicability of Ride Comfort Standards to Off-Road Vehicles," *Journal of Terramechanic*, vol. 42 (1), p. 47–64.
2. **Gillespie, D. T.** 1992. *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Society of Automotive Engineering, Warrendale, PA.
3. **Kirstein, J. C.** 2005. "Suspension System Optimisation to Reduce Whole Body Vibration Exposure on an Articulated Dump Truck," *MSC Thesis*, Stellenbosch University, Matieland, South Africa.
4. **Louca, L. S., Rideout, D. G., Stein, J. L., Hulbert, G. M.** 2003. "Generating Proper Dynamic Models for Truck Mobility and Handling," *International Journal of Heavy Vehicle Systems*, vol. 11 (3–4), p. 209–236.
5. **Uys, P. E., Els, P. S., Thoreson, M.** 2007. "Suspension Setting for Optimal Ride Comfort of Off-Road Vehicles Travelling on Roads with Different Roughness and Speeds," *Journal of Terramechanics*, vol. 44, p.163–175.
6. **Zehsaz, M., Vakili-Tahami, F., Fasihi, A., Majidi Jirandi, A. A.** 2012. "Sensitivity of Ride Comfort to Suspension Characteristics of an Off-Road Vehicle under Road Excitation," *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 2 (5), p. 422–431.
7. **Wong, J. Y.** 2001. *Theory of Ground Vehicles*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Toronto.
8. **Olley, M.** 1946-47. "Road Manners of the Modern Car," *IAE Proceedings*, vol. 41, p. 147-182.
9. **Gogen, E., Sert, E., Yılmaz, A. S., Dileroglu, S.** 2016. "Bir Ticari Aracın Aks Kovanı İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Yapılan Yapısal Analizin Testler ile Doğrulanması," 8. Otomotiv Teknolojileri Kongresi (OTEKON 2016), 23-24 Mayıs 2016, Bursa.
10. **Topac, M., Kuralay, N. S.** 2009. "Yolcu Otobüsü Stabilizatörünün Bilgisayar Destekli Tasarımı," *Mühendis ve Makina*, cilt 50, sayı 594, s. 14-24.
11. *Society of Automotive Engineering*. 1996. *Spring Design Manuel*, ISBN:156091680X/9781560916802, Warrendale, PA.



## Sürekli Asitleme Hattının Mekanik Modellemesi

Kaan Esendağ<sup>\*1</sup>

Serkan Bilgin<sup>2</sup>

İskender Kayabaşı<sup>3</sup>

Varlık Kılıç<sup>4</sup>

Can Yılmaz<sup>5</sup>

### ÖZ

Haddelenmiş ürünlerin yüzeylerinde oluşan tufal tabakasının, sacın daha sonra göreceği işlemlere uygun hale gelmesi amacıyla temizlenmesi gerekmektedir. Bu temizlik işleminin yapılabilmesi için sacın asit havuzundan geçirilip temizlenmesi işlemine asitleme adı verilir. 1900'li yılların ilk çeyreğinden bu yana asitleme hatlarının geliştirilmesi amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır [1]. Bu amaçla geliştirilen hat tiplerinden bir tanesi de sürekli asitleme hattıdır. Bu çalışmada, Borçelik Sürekli Asitleme Hattı'nın mekanik modellemesi yapılmıştır. Çalışmada, Matlab yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle hattın tanıtımı yapıp özellikleri açıklanmış; bu açıklamalarda yer alan kural setleri, alt sistemler halinde modellenmiştir. Doğrulama çalışmaları üç ana başlık altında gerçekleştirilmiştir. Bu başlıklar: Loop Doluluk Oranlarının Doğrulaması, Kontrolçülerin Doğrulaması ve Kural Setlerinin Doğrulaması'dır. Bu doğrulama çalışmaları için geliştirilen modeller Borçelik sürekli asitleme hattının üretim verileri üzerinden doğrulanmıştır. Doğrulama kısmı tamamlandığında model, verilen proses set hızı değeri ve bobin listesi için istenen zaman aralığını simüle edilebilecek duruma gelmiştir. Bu çalışmanın sonucunda, asitleme hattının bilgisayar ortamında dijital ikizi oluşturulmuş ve bu model, ilerleyen dönemde hatta yapılması öngörülen iyileştirme çalışmalarında kullanılmak üzere hazır hale gelmiştir. Böylece, iyileştirme çalışmaları için gerekli olan denemelerin, hatta zarar vermeden ve maliyetsiz olarak yapılabilmesi sağlanmıştır. Ayrıca, çalışma sonunda elde edilen sanal model, hatta üretilecek bobinlerin çizelgelerin daha verimli yapılabilmesi için araç olarak kullanılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sürekli asitleme hattı, modelleme ve simülasyon, sanal model

## Mechanical Modelling of a Continuous Pickling Line

### ABSTRACT

In order to prepare milled coils for oncoming processes, they must be purified from oxide layer. This purification process, which is called pickling, is making coils pass through acid pools. On the purpose of developing pickling lines, numerous studies have been done since the first quarter of 1900s. One of the lines, which was developed with these studies, is continuous pickling line. In this study, mechanical modeling of Borçelik Continuous Pickling Line was made. Studies were made in Matlab software platform. First of all, process line was introduced and rule sets of the line were explained during introduction part. Then, these rule sets were modelled as subsystems. Validation studies were made under three main topics: Loop Fullness Ratios' Validation, Controllers' Validation and Rule Sets' Validation. Models were validated with production data of Borçelik Continuous Pickling Line. When validation section was completed, pickling line could be simulated for an optional time period for defined process set velocity and coil list. As a result of this study, digital twin of the line was created and the model became able to use in upcoming improvement studies of the line. On the other hand, improvement studies of the continuous pickling line, became able to done without any cost or burden on the line. Also, virtual model that was created at the end of the study will be used as a tool for more efficient scheduling of upcoming coils.

**Keywords:** Continuous pickling line, modelling and simulation, virtual model

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 13.07.2017

Kabul/Accepted : 05.09.2017

<sup>1</sup> Borusan Teknoloji Geliştirme ve AR-GE A.Ş., İstanbul - kesendag@borusan.com

<sup>2</sup> Borçelik Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa - sebilgin@borcelik.com

<sup>3</sup> Borusan Teknoloji Geliştirme ve AR-GE A.Ş., İstanbul - ikayabasi@borusan.com

<sup>4</sup> Borusan Teknoloji Geliştirme ve AR-GE A.Ş., İstanbul - vkilic@borusan.com

<sup>5</sup> Borçelik Çelik Sanayi ve Ticaret A.Ş., Bursa - cyilmaz@borcelik.com



## 1. GİRİŞ

Sıcak haddeleme ve ısı işleme maruz kalmış çeliklerin yüzeyi atmosferdeki oksijenle reaksiyona girerek oksit tabakası oluştururlar [2]. Metal saclar, yüzeylerinde bulunan tufal tabakası nedeniyle bazı kullanım yerlerinde direkt olarak kullanıma uygun değildir. Yüzey görünümünün önemli olması ve kullanım yerinde, boya gibi yüzey işlemlerinin yapılacak olması halinde, yüzeyi asitle temizlenmiş sıcak hadde ürünlerinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Sıcak haddeleme prosesinin doğal sonucu olarak malzeme yüzeyinde tufal tabakası (FeO) meydana gelmektedir. Oluşan tufal tabakası, HCl kullanılarak temizlenir. Bu işlemlerin bütününe “asitleme” denir.

HCl asitin kullanımı ile açık renkte ve parlak bir malzeme yüzeyi elde etmek mümkün olmaktadır. Her ne kadar temizleme işlemi için  $H_2SO_4$  de uygun ve hatta daha ucuz bir asit olsa da temizleme işleminin daha yüksek hızlarda yapılabilmesi amacıyla HCl tercih sebebidir [3]. Her ne kadar bu çalışmanın konusu olmasa da asitleme hatlarında kullanılan asitlerin çevreye olan zararlarının azaltılması ve yeniden kullanımı ile ilgili çalışmalar yapıldığını belirtmek de faydalı olacaktır [4]. Asitleme işlemi, tanımda da belirtildiği üzere sac yüzeyinin temizlenmesi, böylece kullanıma veya daha sonra uygulanacak işlemlere hazır hale gelmesi amacıyla yapılır [5]. İlk sürekli asitleme hattının patenti US1544506 A (Tytus, 1925) yayınlanma numarası ile 30 Haziran 1925 tarihinde John B. Tytus tarafından alınmıştır. Karbon çelikleri için kullanılan asitleme hatları genel olarak dört başlık altında incelenebilir. Bunlar:

- İtçek Asitleme Hattı
- Yarı-Sürekli Asitleme Hattı
- Sürekli Asitleme Hattı
- Sonsuz Asitleme Hattı

Hattın modern halini alması, yıllar süren çalışmaların bir sonucu olmuştur. Bu çalışmalarda, hattın farklı noktaları için mekanik, kimyasal, kontrol temelli uygulamalar geliştirilmiş; hat iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Örnek olarak hatta malzeme akış sistemini analiz eden çalışmalar gösterilebilir [7]. Kimyasal tarafta ise asit havuzlarının derişimleri üzerine yapılmış çalışmalar bulunmaktadır [8]. Hatta bu çalışmaların bazılarında, yetersiz veri erişimi sebebiyle gri kutu modelleme yöntemi kullanılmıştır [9].

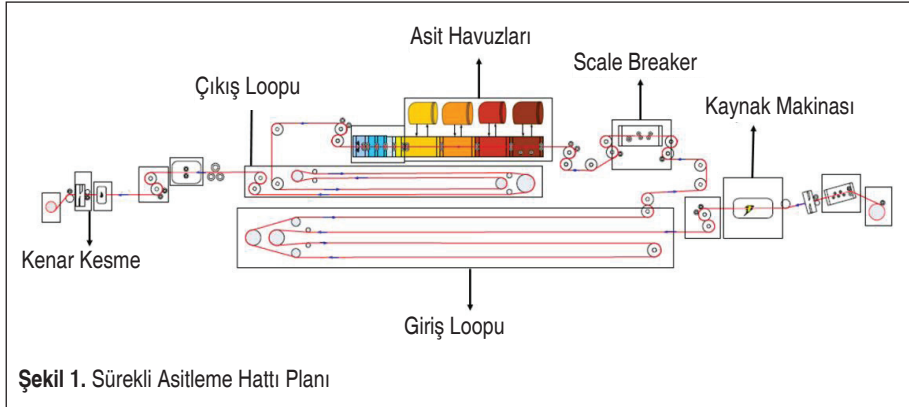
## 2. MEKANİK MODELLEME

Asitleme hattının detayları ve çalışma prensibi anlaşıldıktan sonra hattın sanal ortamda benzetimini yapacak mekanik model için algoritma oluşturulmuştur. Hattın alt

sistemleri, kontrolcülerini ve bütün kural setlerini de göz önünde bulundurarak geliştirilen algoritma, Matlab ortamında programa dönüştürülmüştür. Hattın genel tanıtımı ve algoritma detayları alt başlıklarda anlatılmıştır. Hattın fiziksel özelliklerine dair bazı bilgilerin verilmeyip değişkenlerle ifade edilmesinin sebebi, bu özelliklerin firmaya ait olması ve firmanın gizlilik konusunda gösterdiği hassasiyettir.

## 2.1 Genel Hat Tanıtımı

Bu çalışmada modellenecek asitleme hattı, sürekli asitleme hattı sınıfındadır. Sürekli asitleme hatlarında ardışık bobinler birbirlerine kaynaklanarak asit havuzundan geçirilirler. Girişte kaynağın yapılması için gerekli olan giriş ilerlemesindeki durma esnasında prosesteki akışın devam etmesi amacıyla giriş loopu adı verilen bir depolama sistemi vardır. Benzer şekilde, çıkışta da bobinin sistemden koparılması süreci yaşanırken gerçekleşen durma sırasında prosesteki akışın devam edebilmesi için çıkış loopu olarak anılacak bir depolama sistemi bulunmaktadır [9]. (Bu depolama sistemleri, fabrika içerisinde “loop” kelimesi ile ifade edildiğinden dolayı çalışmada da bu isimle anılacaktır.) Bu looplar, Şekil 1’de de görüldüğü gibi, hareketli merdane sistemleriyle çalışmakta, bu merdanelerin hareketleriyle looplar dolup boşalmaktadır.



Şekil 1. Sürekli Asitleme Hattı Planı

Asitleme hattının çalışma süreci şu şekilde gerçekleşmektedir: Bobinler, üretim planlama biriminin vermiş olduğu öncelik sırasına göre, vinç aracılığı ile yastıklara konur ve yastıklardan giriş mandrele gönderilir. Giriş mandrele yüklenen bobin, mandrelin dönmesi ile açılır ve roller yardımı ile doğrultucuya (flattener) yönlendirilir. Doğrultucuda bobinin baş-sonlarındaki dalga giderilir, düzleştirilir. Doğrultucu sonrasında giriş makasta bobinin uygunsuz kısımları doğranarak bobin başı kaynağa hazırlanır.

Bir önceki bobinin sonu ile arkadan gelen bobinin başı, yakma alın kaynak makinasında (Flash Butt Welder) yüksek akım ve basınç altında alın altına kaynatılır ve kaynağın üzerinde bulunan cürufklar trim bıçaklarıyla temizlenir. Kaynaklanan bobin-



Şekil 2. Borçelik Sürekli Asitleme Hattı

ler, 435 metre uzunluğa sahip ve giriş-kaynak operasyonları esnasında hattın sürekli çalışır halde kalmasını sağlayan giriş loopuna (giriş akümülyasyon) gönderilir.

Giriş loopundan çıkan bobin, tufal kırıcı (scale breaker) makinasına gelir. Tufal kırıcı giriş ve çıkışındaki ana merdaneler arasında gerilen sacın üzerine, iş rolleri tarafından uygulanan dikey kuvvetlerin etkisi ile bobin yüzeyinde bulunan tufaller mekanik olarak kırılır ve %3'e kadar verilen uzama ile sıcak hadde kaynaklı oluşan kenar dalgalarını minimize edilir. Tufal kırıcıdan çıkan bant, asit banyolarından geçirilerek (shallow type) HCl ile temizlenir. Banyo sıcaklıkları  $x^{\circ}\text{C}$  -  $y^{\circ}\text{C}$  aralığında ve asit konsantrasyonu  $z$  g/l olarak tutulur. Asit banyolarında gerçekleşen kimyasal reaksiyon ile bobin yüzeyinde tufal tabakası temizlenir ve bobin, ağırlığının %  $x$ 'lik bölümünü tufal olarak kaybeder. Bobinin asit içerisinde fazla kalması durumunda, asidin sacın aşındırmasını yavaşlatmak için asit inhibitörü kullanılmaktadır. Bant üzerinde kalan asidin uzaklaştırılması için rins (durulama) banyoları bulunmaktadır. Bu banyolarda nozül-lerden sac yüzeyine demineralize su püskürtülerek, yüzeyin durulanması sağlanır. Durulanmış bobin  $x^{\circ}\text{C}$ 'deki kurutucudan geçirilerek, yüzeyindeki ıslaklık giderilir.

Kuruyan bant, yüzeyin tüm genişliği ve uzunluğu boyunca uygunsuzlukların kayıt altına alındığı otomatik yüzey kontrol sistemine (SIAS) girer ve SIAS'ta tespit edilen uygunsuzluklar yüzey gözlem operatörü tarafından sisteme kaydedilir. SIAS'tan hemen sonra bobinin hammadde genişliği ölçülür. Genişlikölçerden çıkan bobin çıkış loopuna (çıkış akümülyasyon) girer. 360 metrelik sacı biriktirebilen çıkış loopu, kenar kesme ve çıkış operasyonları esnasında prosesin sürekli çalışır halde kalmasını sağlar. Çıkış loopundan çıkan bobin, kalınlıkölçere gelir. Bu ekipmanda sac genişliği boyun-





ca profil taraması ve bobin boyunca orta nokta ölçümü yapılır. Kalınlıkölçerden çıkan bobin kenar kesmeye gelir. Kenar kesmede genişlik müşteri isteğine uygun hale getirilir, bobin soğuk haddeye hazırlanır ve bobin kenarındaki uygunsuzluklar giderilir. Kenar kesme makinasında, kenarlardan toplamda minimum a mm, maksimum b mm çapak alınabilmektedir. Bobin kenarlarından çıkan çapaklar hurda doğrayıcıda (scrap chopper) nakliye kolaylığı için küçük parçalara ayrılır. Kenar kesme bölgesinden sonra bobin, elektro-statik yağlayıcıya (ESO) gelir. Bu kısımda, bobin yüzeyindeki paslanmayı engellemek ve soğuk hadde prosesine yardımcı olmak için, bobin homojen bir şekilde yağlanır. İç müşteri (haddeler) için  $x \text{ gr/m}^2$  hadde yağı, dış müşteri için (PO)  $y \text{ gr/m}^2$  koruyucu yağ kullanılır. Bant yağlandıktan sonra kaynak bölgesi makastan doğranır ve bant çıkış mandrelde müşteri talebine uygun olacak şekilde üstten veya alttan sarılır. Sarılan bobinler çıkış kantara getirilerek tartılır, sargıların açılması engellenecek şekilde çemberle sıkılır, bobin bilgileri bobin, üzerine ve etikete yazılarak, bobin, iç ya da dış müşteriye sevk edilir.

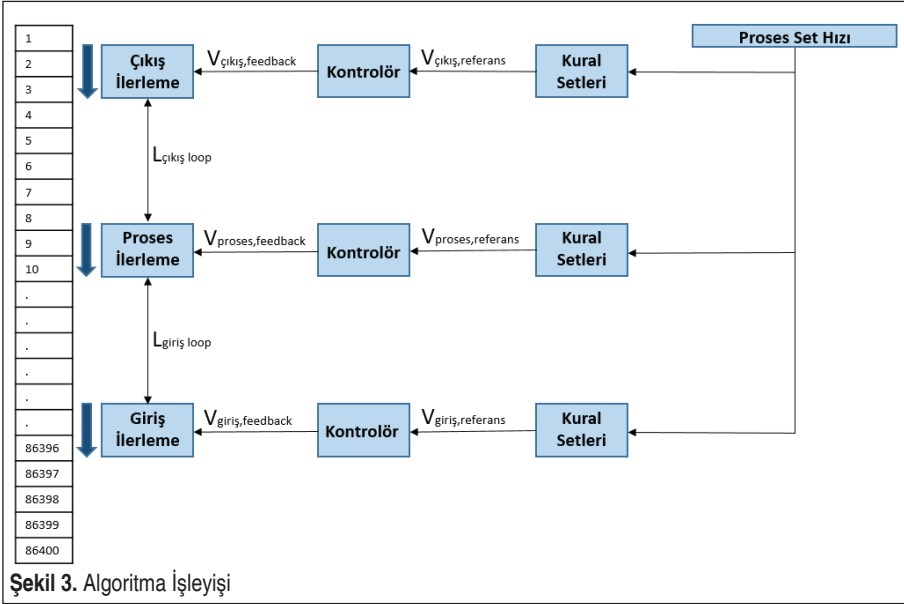
### Hat Yeteneği

- |                           |                   |
|---------------------------|-------------------|
| • Üretim kapasitesi:      | 1.600.000 ton/yıl |
| • Üretilen sac kalınlığı: | 1,20 – 6,00 mm    |
| • Üretilen sac genişliği: | 600-1560 mm       |
| • Maksimum proses hızı:   | x m/dakika        |
| • Bobin kesit alanı:      | y $\text{mm}^2$   |
| • Bobin dış çap:          | a - b mm          |
| • Bobin iç çapı :         | c - d mm          |

Çalışma dahilinde, Matlab yazılımı ile sistemin tek boyutlu mekanik modellemesi yapılacak; bu modelleme, gerçekleşen verilerle doğrulandıktan sonra simülasyon modeli oluşturulacak ve istenen bobin listesi ve proses hızları için süreç kontrol edilebilecektir. Bu sayede sistem üzerinde optimizasyon fırsatı olduğu düşünülen noktalar, hatta deneme yükü olmadan simüle edilebilecek ve getiriler öngörülebilecektir. Çalışmanın sonucunda, parametre/bileşen alternatif benzetimleri, girdi alternatif benzetimleri, proses alternatif benzetimleri, planlama alternatif benzetimleri yapılabilecek ve sonuçlar karşılaştırılarak üretim artışı, ürün kalite artırımı ve kâr artışı gibi ekonomik faydalar elde edilecektir. Ayrıca, ulaşılabilecek hız stabilizasyonu sayesinde hattaki yıpranmalar ve bakım maliyetleri azaltılmış; prosesin durmasıyla kalitede meydana gelen olumsuz etkiler en aza indirgenmiş olacaktır.

### 2.2 Algoritma Tanıtımı

Pickling hattının modeli için en önemli parametre proses hızıdır. Proses hızı ile giriş

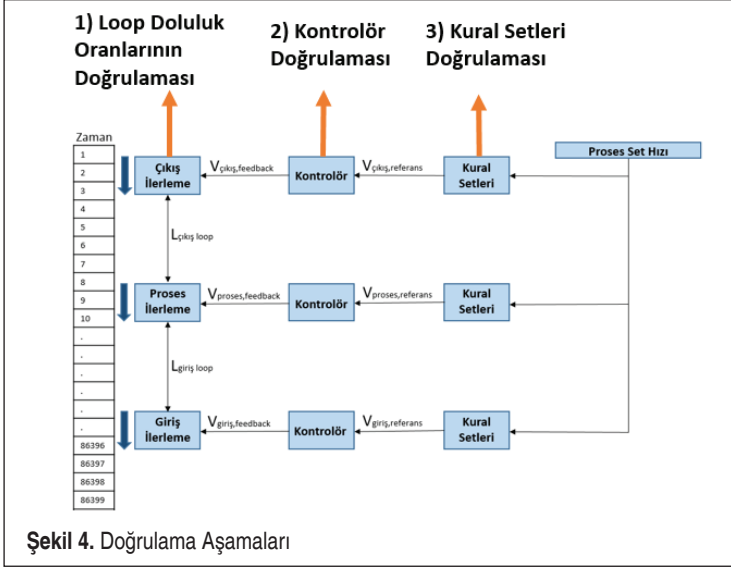


hızı arasındaki fark, giriş loopunun dolma/boşalma oranını ve proses hızı ile çıkış hızı arasındaki fark ise çıkış loopunun dolma/boşalma oranını verecektir. Proses hızı, loop doluluk oranları kritik konuma geldiği durumlarda düşürülecek; diğer zamanlarda belirlenen set hızı değerine sabitlenecektir. (Bu konunun detaylı incelemesi Mekanik Modelin Doğrulanması kısmında detaylı olarak ele alınacaktır.)

Algoritma akışı Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada soldaki tablo, zaman akışını göstermekte olup tüm sacların kaynaklandığı varsayılan tek bir uzun sacı temsil etmektedir. En solda kalan giriş, proses ve çıkış ilerleme kutuları bu sac üzerine ilerleyen arabalar gibi düşünülebilir. Burada ilerlemeden kasıt, ilgili bölgeden geçen sac metrajıdır. Bir bobin tamamen sisteme girdikten sonra ikinci bobinle aralarındaki kaynak işleminin yapılması sırasında girişteki ilerleme belirli bir saniyede (yani tek bir uzun sac gibi düşünülürse, o sacın belirli bir metresinde) durur. Bunu giriş ilerleme arabasının durması olarak düşünebiliriz. Bu esnada proses akmaya devam edeceği için proses ilerleme arabası giriş ilerleme arabasına yaklaşır. Bu da giriş loopunun metraj olarak küçülmesi, bir başka deyişle, giriş loopunun boşalması anlamına gelir. Aynı durum, proses ilerleme arabası ile çıkış ilerleme arabası arasında da geçerlidir.

### 3. MEKANİK MODELİN DOĞRULANMASI

Mekanik modelin doğrulanması, algoritma akışına göre belirlenmiş olup üç aşamalı olarak gerçekleştirilecektir (Şekil 4). Bu aşamalar şunlardır:



1. Loopların Doluluk Oranlarının Doğrulaması
2. Kontrolcülerin Doğrulaması
3. Kural Setlerinin Doğrulaması

### 3.1 Loop Doluluk Oranlarının Doğrulaması

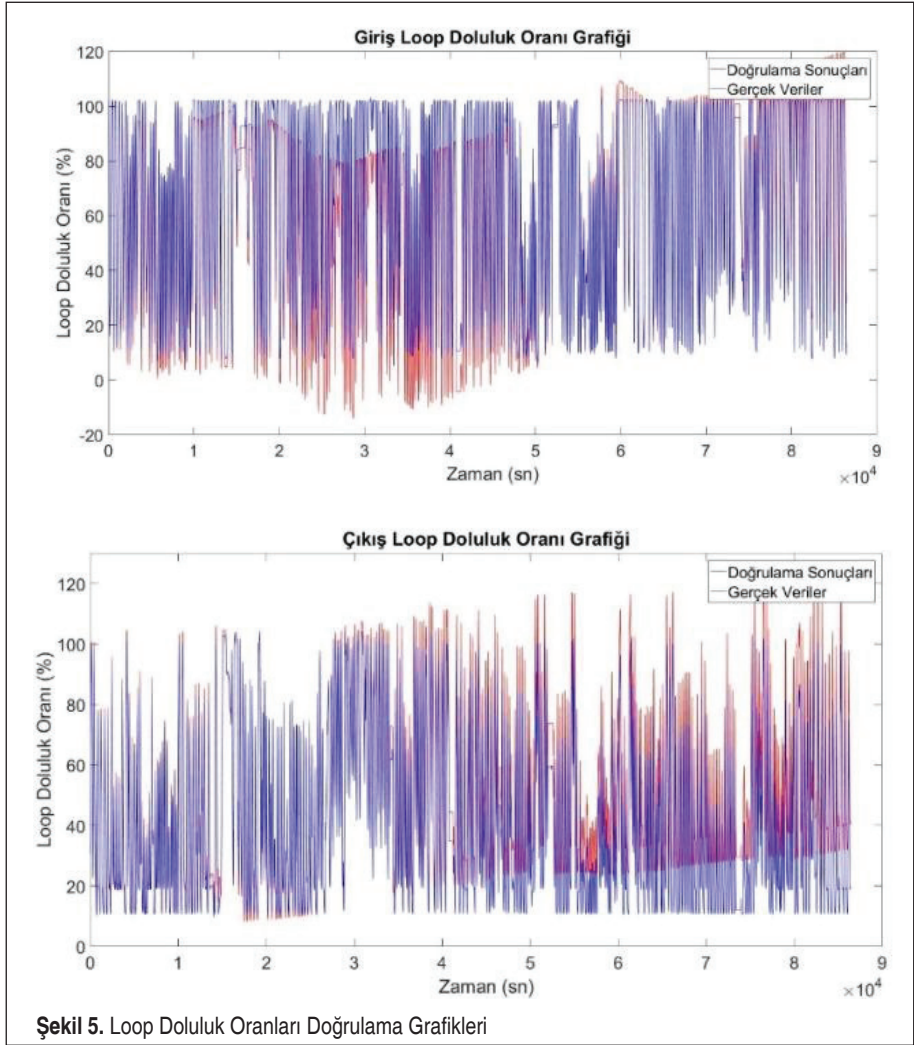
Loop doluluk oranı genel manada giriş ve çıkış hızının proses hızıyla arasındaki farktan yola çıkılarak bulunur. Örneğin giriş loopunda giriş hızı ile proses hızı arasındaki fark bize, saniyede kaç metre sacın loopuna eklendiği veya saniyede kaç metre sacın looptan çıktığı bilgisini verir. Loopun toplam kapasitesi de bilindiği zaman bu ekleme/çıkarmanın yüzde kaçlık bir etki yaratacağı hesaplanabilir.

Aynı durum çıkış loopu için de geçerlidir. Çıkış hızı ile proses hızı arasındaki fark, bize çıkış loopunun doluluk metrajını verecek, buradan da yüzde kaç dolulukta olduğu hesaplanabilecektir. Bu mantık temelinde, giriş ve çıkış loopunun değişimi formüle edilmiştir. Simüle edilen ve gerçekleşmiş loop doluluk oranlarının karşılaştırılabilmesi için, gerçekleşmiş proses hızı, giriş hızı ve çıkış hızı değerleri alınarak loop doluluk oranları simüle edilmiştir. Daha sonra da bu simülasyon sonuçları ile gerçekleşmiş ve-



riler bir günlük üretim için karşılaştırılmıştır. Şekil 5'te bu karşılaştırma incelenebilir. Grafiklerden de anlaşıldığı üzere, iki ayrı veri benzer şablonu çizmektedir. Aralarda meydana gelen farkların belli sebepleri vardır. Bunlar:

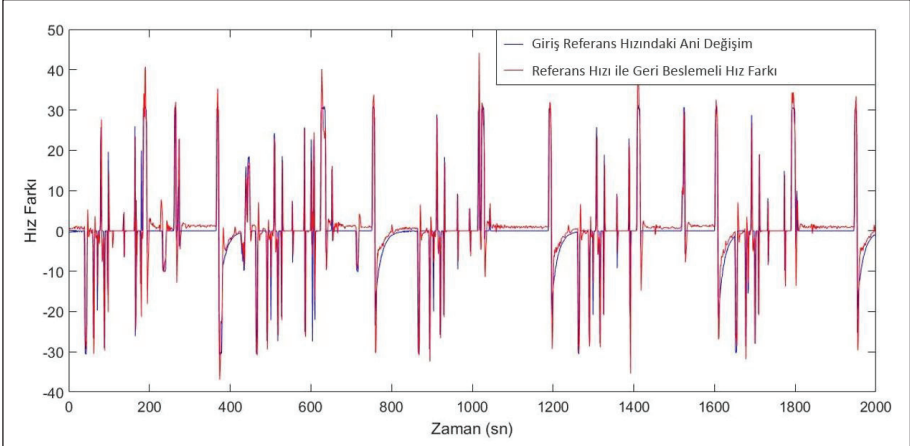
- Loop doluluk oranlarının ölçümü yapılırken, ilerleyen metraj yerine loop arabalarının hareketlerinin ölçülmesi ve bu sebeple aralarda sehim yapan sacların ölçüme dahil edilememesi ile
- Yapılan gerdirmeler sonucu bobinin girişteki uzunluğunun değişebilmesidir.



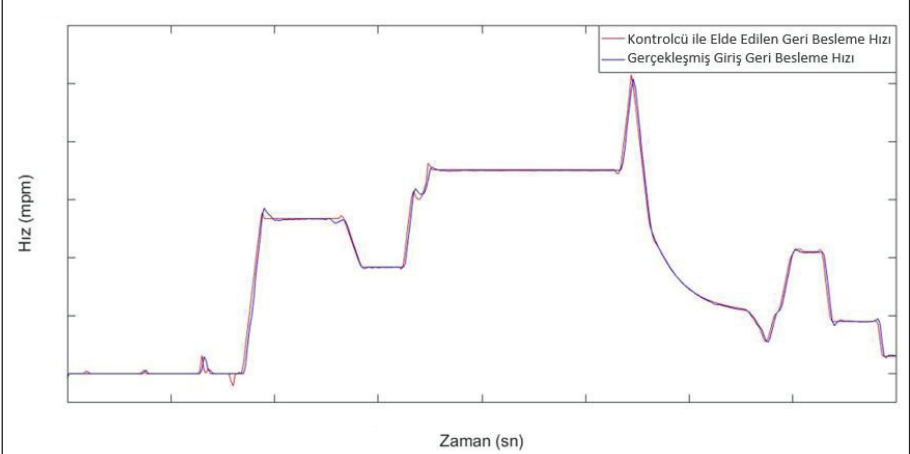


### 3.2 Kontrolcülerin Doğrulanması

Modellemenin daha doğru sonuçlar verebilmesi ve motora doğru veri gönderilebilmesi için, referans hızlarla geri beslemeli hızlar arasındaki farkın sebebinin bulunması ve elde edilmek istenen geri beslemeli hıza göre motora referans hız sinyali gönderilmesi gerekmektedir. Yapılan incelemeler sonucunda, referans hızları ile geri beslemeli hızlar arasındaki farkın sistemin hızlanıp yavaşladığı noktalarda fazla olduğu öngörülmüştür. Bu görüşü doğrulayabilmek için çizdirilen grafik, Şekil 6'da görülebilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi ivmelenme, referans hızı ile geri beslemeli hız arasında fark olmasına sebep olmuştur. Sözgelimi, hızlanan bir süreç takip edilirken, geri



Şekil 6. Referans Hızındaki İvmelenme ile Referans-Geri Beslemeli Hız Farkının Karşılaştırılması

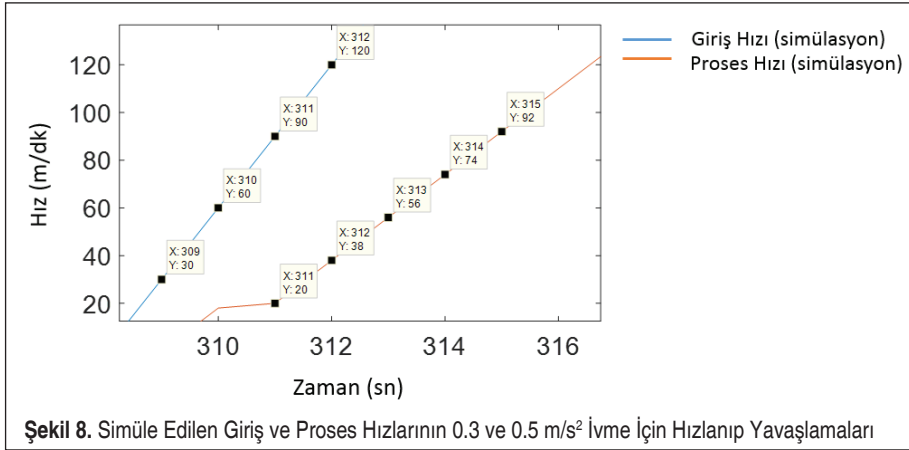


Şekil 7. Kontrolcü Algoritmasıyla Elde Edilen Geri Besleme Hızı ile Gerçekleşen Geri Besleme Hızı Karşılaştırma Grafiği

beslemeli hız, referansın gerisinde kaldığı için, referans ani olarak uygulanamamakta, bu da yanlış hız değerinin eldesiyle sonuçlanmaktadır.

Bu sebeple, motora veri gönderilirken, o an elde edilmek istenen hızın biraz üstünde veya altında bir hız değeri tanımlanmalı, bu sayede fark miktarı çıkarıldığında elde edilen geri besleme değeri aslında ulaşılmak istenen hız olarak kalmalıdır. Bu çalışma sonucunda geliştirilen algoritma ile tanımlanan geri besleme hızı ve gerçekleşmiş geri besleme hızı arasındaki fark Şekil 7’de görülebilmektedir.

Kontrolcünün algoritmadaki bir başka görevi de hızların hızlanıp yavaşladığı noktaları gerçeğe yakın olarak simüle etmektir. Algoritma mantığı ile çalışıldığı durumda giriş hızı bir saniye içinde sıfırdan maksimum hız değerine çıkabilmektedir. Bunun önüne geçilebilmesi için motorların ivmelenme değeri olan, giriş ve çıkış hızı için  $0.5 \text{ m/s}^2$ , proses hızı için  $0.3 \text{ m/s}^2$  temel alınarak; giriş, proses ve çıkış hızlarının kademeli hızlanıp yavaşlamaları sağlanmıştır. Bu özellik de Şekil 8’de görülebilmektedir.

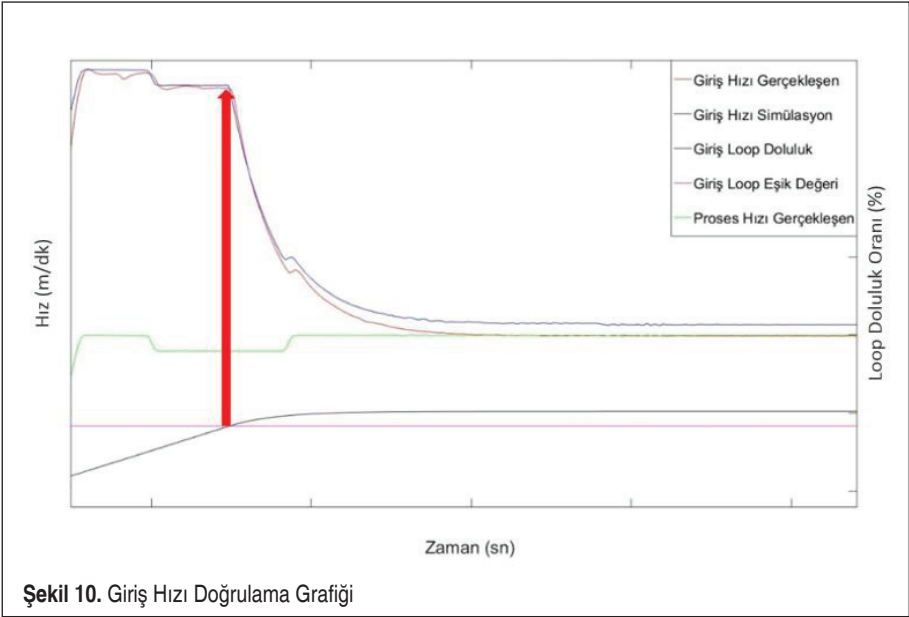
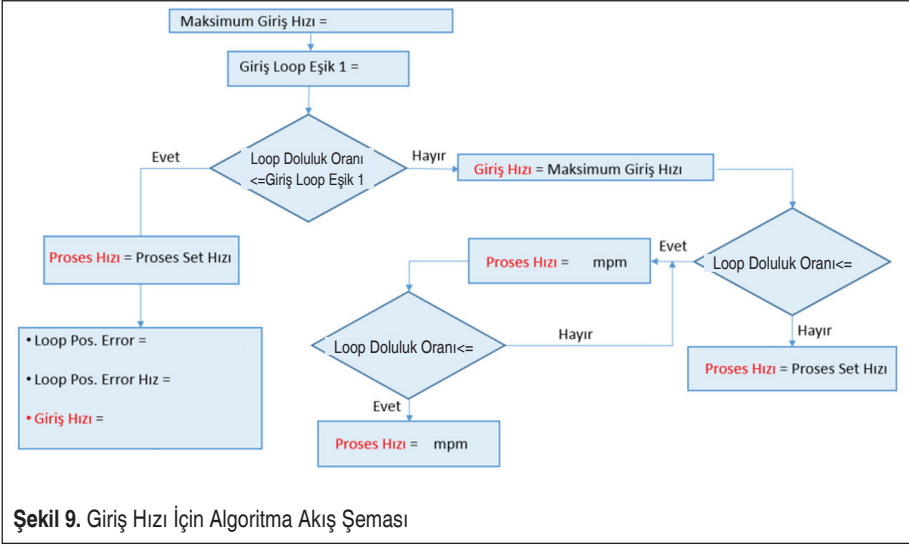


Şekil 8. Simüle Edilen Giriş ve Proses Hızlarının  $0.3$  ve  $0.5 \text{ m/s}^2$  İvmeye İçin Hızlanıp Yavaşlamaları

### 3.3 Kural Setlerinin Doğrulaması

Kural setlerinin doğrulaması için yapılan çalışmalar, giriş hızı ve çıkış hızı için ayrı ayrı değerlendirilecek olup, algoritma akış şemaları ve doğrulama grafikleriyle birlikte verilecektir.

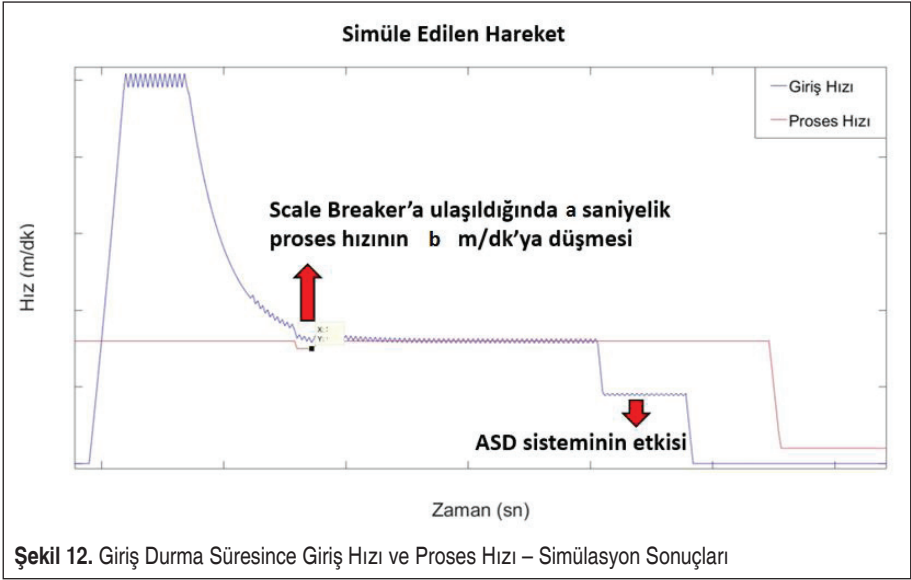
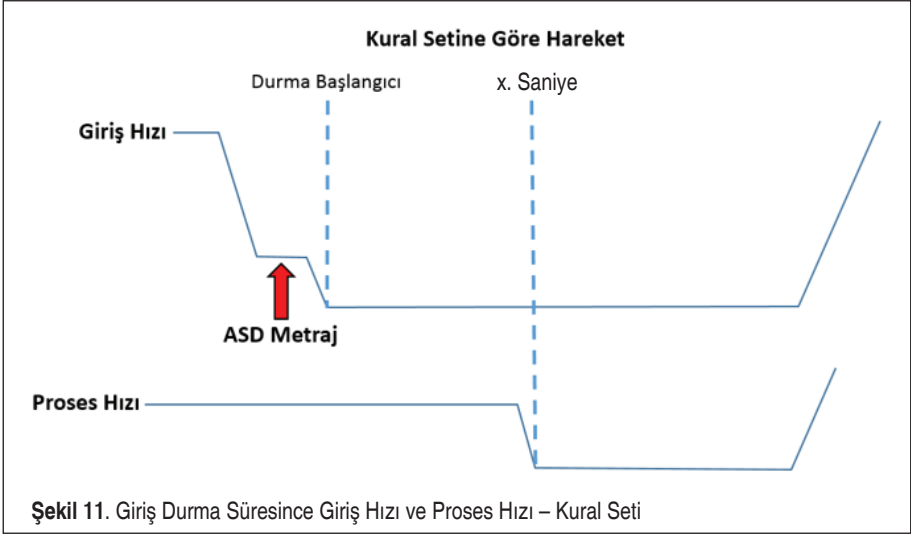
Girişte eşik değeri ve hızlarla ilgili kuralların yanı sıra durma süresinde ve bobinin sisteme ilk dahil oluşunda uygulanacak kurallar da mevcuttur. Bu kurallardan ilki, bobinin sisteme dahil olduğundan sonra scale breaker'a ulaşması ile birlikte  $a$  saniyelik proses hızında bir düşüş yaşanmasıdır. Bu  $a$  saniye süresinde proses hızı  $b$  m/dk değerine düşürülür. Bir diğer kural da giriş durma süresinin  $x$ . saniyesine geldiğinde, proses hızında düşme yaşanmasıdır.



Bu düşüş,

- $\text{Proses Hızı} = (\text{Giriş loopunda mevcut bobin metrajı} \cdot c) / (d)$

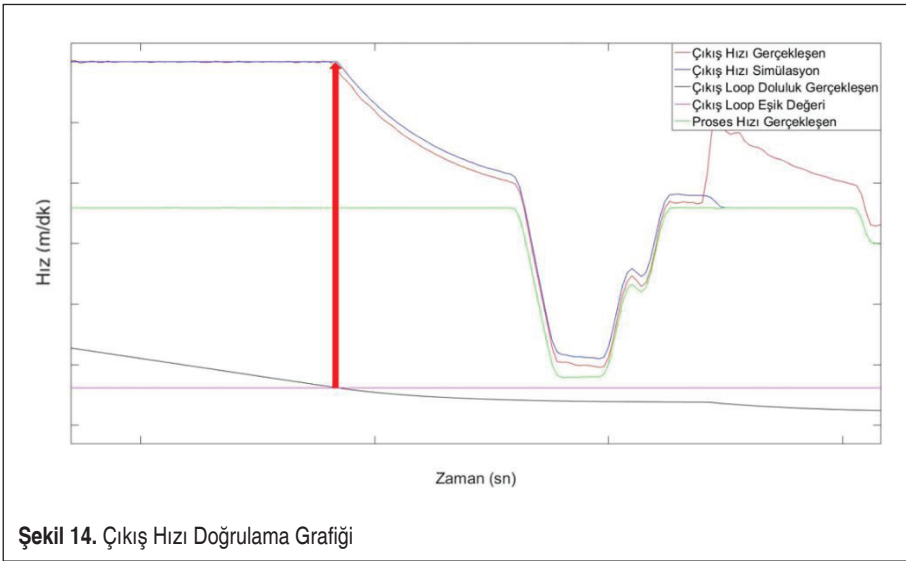
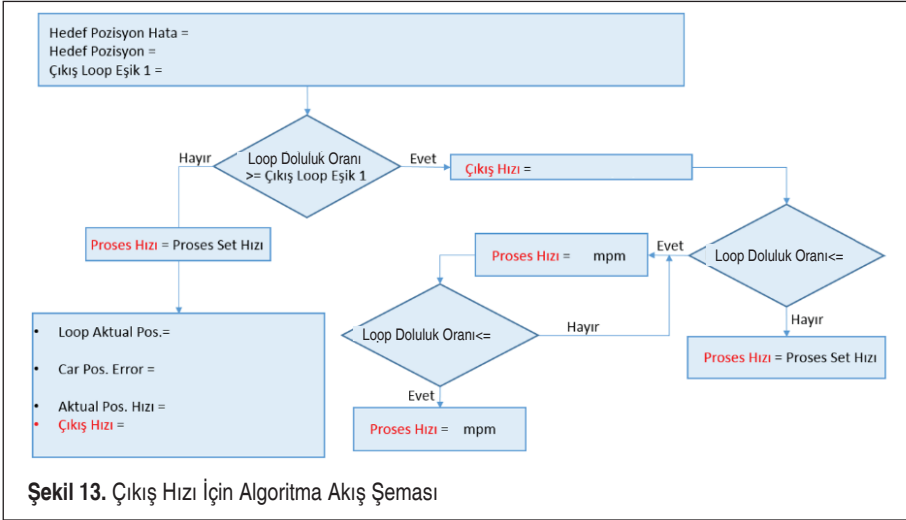
olarak formüle edilebilir.



Grafiklerde giriş ve çıkış loop doluluk oranlarının eşik değerini yakaladığı noktalardaki hız düşüşü kırmızı oklarla gösterilmiştir. Bunun yanı sıra, çıkış loopunda bobinlerin kenar kesme özelliklerine göre dört farklı çıkış hızı durumu vardır. Bunlar,

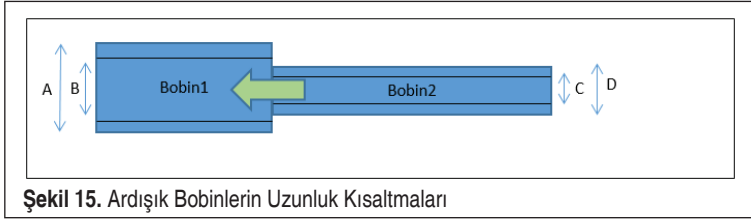
- Notch'lu Durum
- Aynı Ebat Durumu





- DWA Durumu
- Kenar Kesmesiz Durum

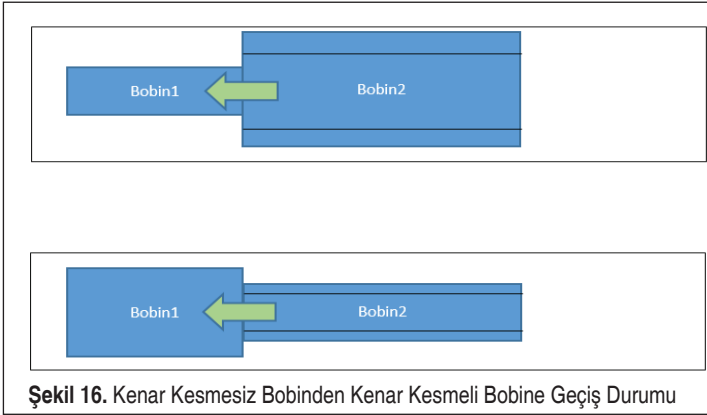
Bu durumlar, ardışık bobinlerin kenar kesme özelliklerine göre tanımlanır ve Sequence 5 ve Sequence 6 sinyalleri alındığında çıkış hızı ile proses hızının hangi noktaya düşeceği belirlenir. Öncelikle kenar kesme özelliklerine göre hangi durumun gerçekleşeceği açıklanacaktır. Geçiş durumuna göre çıkış hızındaki değişimler algoritmanın son halinde tanımlanmıştır.



A : Bobin1 giriş genişliği                      B : Bobin1 çıkış genişliği  
C : Bobin2 çıkış genişliği                      D : Bobin2 giriş genişliği

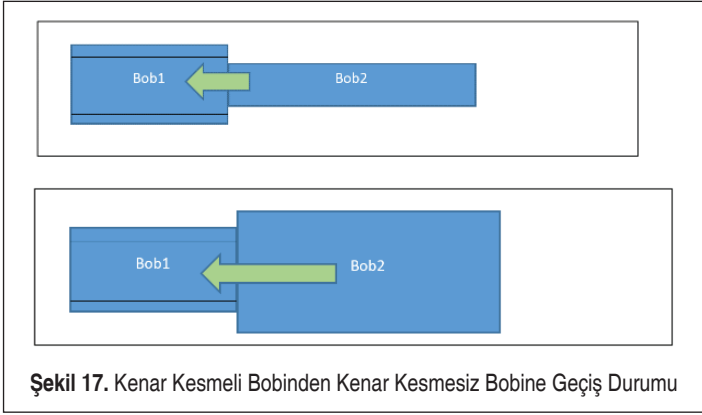
Her iki bobin de kenar kesmesiz ise “Kenar Kesmesiz Geçiş” özelliği kullanılır. Her iki bobinin de çıkış genişlikleri birbirine aynı ise “Aynı Ebatlı Geçiş” özelliği kullanılır.

### 3.3.1 Kenar Kesmesizden Kenar Kesmeliye Geçiş Durumu



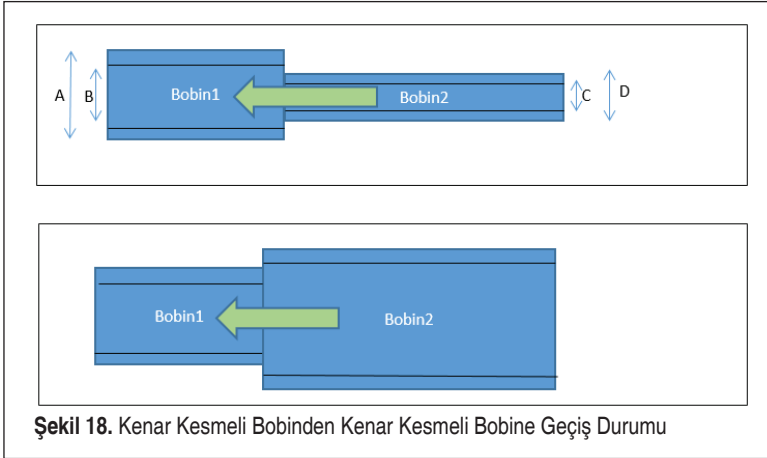
- Bobin2.Çıkış genişlik – Bobin1.Çıkış genişlik > x      Aynı Ebat Geçışı
- Bobin2.Çıkış genişlik – Bobin1.Çıkış genişlik <= x      Notchlu Geçiş

### 3.3.2 Kenar Kesmeli Bobinden Kenar Kesmesize Geçiş Durumu



- Bobin1.Çıkış genişlik – Bobin2.Çıkış genişlik  $> x$  **Aynı Ebat Geçiş**
- Bobin1.Çıkış genişlik – Bobin2.Çıkış genişlik  $\leq x$  **Notchlu Geçiş**
- Bobin1.Çıkış genişlik – Bobin2.Çıkış genişlik  $\leq x$  olacağından **Notchlu Geçiş**

### 3.3.3 Kenar Kesmeli Bobinden Kenar Kesmeli Bobine Geçiş Durumu



- Eğer  $B=C$  ise **Aynı Ebat Geçiş**
- $(\text{Maks}[A, B, C, D] - \text{Min}[A, B, C, D]) < x$  ve Çıkış genişliği fazla olan bobinin Kalınlığı  $\leq y$  ise **DWA Geçiş**
- Değilse **Notch'lu Geçiş**

Bu geçiş özellikleri yukarıdaki grafiklerle de açıklandığı gibi, çıkış ve proses hızlarındaki düşüşlerin tetikleneceği yerleri göstermektedir. Burada, kenar geçme özelliğine göre çıkış hızının düşeceği değer bellidir. Proses hızının düşüşü ise şu şekilde formüle edilir:

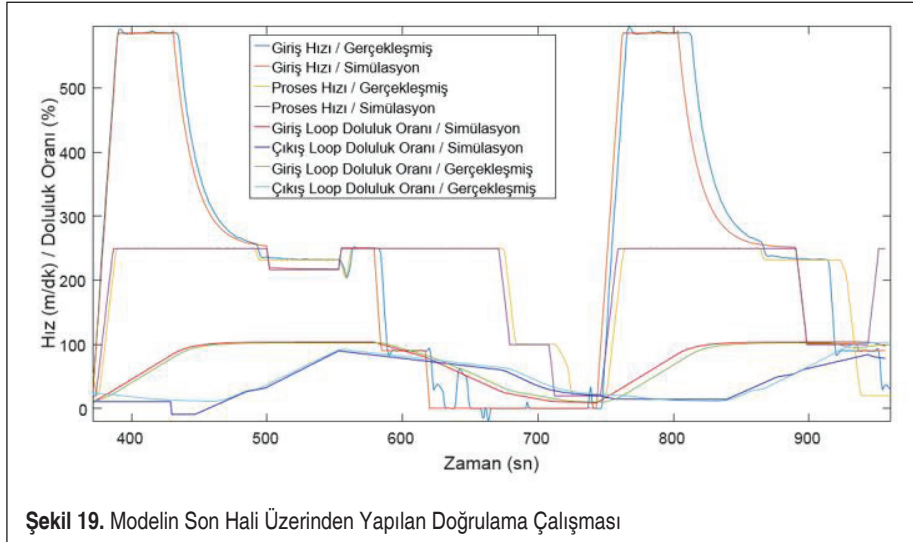
- Proses Hızı = (Çıkış Loopunda mevcut bobin metrajı \* c) / (d)

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ise proses hızının hem giriş hem de çıkış loopundaki hareketten etkilenebilmesidir. Böyle bir durum gerçekleştiğinde, iki kuraldan elde edilen değerlerin minimumu geçerli olur. Bu özellik, proses hızını  $x$  ve  $y$  m/dk'ya düşüren durumlar için de geçerlidir. Her zaman için kurallar sonucu belirlenen minimum proses hızı değeri, geçerli proses set hızı kabul edilir.

### 3.3.4 Nihai Doğrulama Çalışmaları

Bu kısma kadar açıklanmış olan doğrulama çalışmalarının her biri, özellikle bir alt sistemin kontrol edilmesi için yapılmış çalışmalardır. Çalışmanın doğrulamasının tam anlamıyla tamamlanabilmesi için, sistemin alt modellerinin birleştirilerek sistem modelinin elde edilmesi ve bu sistem modelinin doğrulanması gerekmektedir. Bu noktada, gerçek üretim verileri ile modelin sonuçları belirli bir zaman aralığı için karşılaştırılmalı, sistem çalışma prensipleri ile model çalışma prensiplerinin aynı doğrultuda olduğu teyit edilmelidir.

Buraya kadar yapılan algoritma geliştirme çalışmaları, daha önce belirtildiği gibi, Matlab ortamında yapılmıştır. Çalışmalarda Matlab'in standart kodlama kütüphanesi kullanılmıştır. Önceki bölümlerde açıklanan akış şemaları ile tanımlanmış olan kural



Şekil 19. Modelin Son Hali Üzerinden Yapılan Doğrulama Çalışması



setleri ve alt sistemlerin tamamı, sistem modeli oluşturacak şekilde bir Matlab dosyasında birleştirilmiştir. Bu dosya .m uzantılı bir dosya ile kaydedilmiştir. Modelin son hali üzerinden yapılmış doğrulama çalışması Şekil 19'da; çalışmaya ait veriler de Tablo 1'de görülebilir.

**Tablo 1.** Şekil 19'da Görülen Doğrulama Çalışmasına ait Veriler

Doğrulama Çalışması	Gerçekleşen Üretim Süresi (sn)	Simüle Edilen Üretim Süresi (sn)	Üretim Süresi Hata Payı (%)
D_6	9 dk 37 sn	9 dk 42 sn	% 0.87

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmanın temel yapılış sebebi, sürekli asitleme hattının en verimli şekilde nasıl çalışacağına test edilebilmesi için bir araç elde etmek, hattın dijital bir kopyasını çıkarmaktır. Gelişen teknoloji, sistemler ve hat kullanım tecrübesinin artması ile bazı iyileştirme fikirleri doğmakta, zaman içerisinde hat ile alakalı uygulama fikirleri test edilmek durumunda kalmaktadır. Bu testlerin hat üzerinde yapılması, hattın durması, süreçlerin yavaşlaması gibi maliyet yükleri getirmektedir. Bu sayede, hat üzerinde yapılmak istenen iyileştirme çalışmaları, herhangi bir maliyet olmadan denenebilecek, geliştirilen optimizasyon algoritmaları ile senkronize çalıştırılarak, daha doğru sonuçlar elde edilebilmesini sağlayacaktır. İlerleyen süreçte çizelgeleme ve kural setleri optimizasyonu çalışmaları ile hattın daha verimli çalıştırılabilmesi amaçlanmaktadır.

Açıklanan mantık temelinde yapılan bu çalışmada iş akışı şu şekilde oluşturulmuştur: Prosesin değişkenleri alt sistemler halinde matematiksel olarak modellenmiş, çalışma sistemlerine dair akış şemaları çıkartılmıştır. Elde edilen veriler ışığında alt sistemler, Matlab yazılımında kodlanarak oluşturulmuştur. Bu alt sistemler, gerçekleşmiş veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Sistemin istenen kurullarla ve fiziksel çalıştığından emin olunmuştur. Daha sonra bu alt modeller birleştirilerek nihai model oluşturulmuş ve nihai model doğrulama çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, % 0.87 üretim süresi hata payı ile üretimin modellenbildiği görülmüştür.

Yapılan çalışmalarla, sürekli asitleme hattının sanal ortamda bir kopyası çıkartılmıştır. İlerleyen dönemde yapılması olası bir çizelgeleme ve/veya kural setleri optimizasyonu bu model üzerinde denenebilir, faydalı sonuçlar verip vermeyeceği incelenebilir; modelin .exe formatında kaydedilmesiyle Matlab ortamı haricinde çalışabilecek şekilde çoğaltılabilir.



## KAYNAKÇA

1. **Tytus, J. B.** 1925. Metal-Pickling Process, U.S. Patent No: 1544506.
2. **Robson, J.** 1993. Steel Pickling: A Profile, Draft Report, EPA Contract 68-D1: 0143.
3. **Eagleson, M.** 1994. Concise Encyclopedia Chemistry, Walter de Gruyter, Berlin.
4. **Watanabe, T., Nakazato, Y., Sato, R.** 1985. "An Outline of the Stainless Steel Continuous Annealing and Pickling Line at Chiba Works," Kawasaki Steel Tech. Rep. 13, p. 140-148.
5. **Agrawal, A., Navneet, N., Dubey, S. K.** 2014. "A Review on Regeneration Process of Waste Pickling Acid at Steel Industries," International Journal of Engineering Research and Reviews 2 (4), p. 70-73.
6. **Aurora, C., Schlauzero, D., Cuzzola, F. A.** 2009. "Pickling Line Modeling for Advanced Process Monitoring and Automation," Technological Papers, Danieli Automation, p. 384-389.
7. **Nassar, M. G. V., Melo, J. I. G., Miyagi, P. E., dos Santos Filho, D.** 2008. "Modeling and Analysing of the Material Entry Flow System in a Pickling Line Process Using Petri Net," ABCM Symposium Series in Mechatronics, vol. 3, p. 444-453.
8. **Noh, I., Park, H.** 2015. "Acid Concentration Control for Pickling Line of Cold Rolling," IFAC-Papers OnLine, vol. 48 (17), p. 39-41.
9. **Sohlberg, B.** 2005. "Hybrid Grey Box Modelling of a Pickling Process," Control Engineering Practice, vol. 13 (9), p. 1093-1102.
10. **Delwig, F. W., Speelmanns, R.** 1971. Continuous Pickling Line for Endless Sheets, U.S. Patent No. 3,625,232.

# Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi

Fatih Güven<sup>1</sup>  
Hikmet Rende<sup>\*2</sup>

## ÖZ

Elektrikli araçlar artan nüfusla birlikte ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalan fosil yakıtların kullanıldığı motorlu araçlara alternatif olarak geliştirilmiştir. Elektrikli araçların yaygınlaşması ile fosil yakıtların kullanımı neticesinde oluşan emisyonların çevresel etkilerinin azaltılması amaçlanmaktadır. Menzilin kısa olması, batarya dolma süresinin uzunluğu ve satış fiyatının yüksek olması elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki engellerdir. Maliyeti büyük ölçüde bataryalardan kaynaklanan bu araçların menzili artırmak için daha fazla kapasiteye sahip batarya kullanmak gerekmektedir. Ancak ağır bir araç menzil sorunu oluşturmaktadır. Menzili artırmak için daha düşük yoğunluğa sahip alternatif malzemeler kullanarak araç hafifletilebilir. Böylece aynı batarya kapasitesi ile daha uzun yol kat edilebilmektedir. Araçların imalatında kullanılan bu malzemelerin seçiminde bulunabilirlik, çevresel etki, dayanım ve maliyet gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Bu çalışma kapsamında, elektrikli araçların hafifletilmesi amacı ile kullanılan malzemeler ve bu malzemelerin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hafifletilmiş araçlar, otomotiv malzemeleri, alternatif malzemeler, geri dönüşüm, çevreci araçlar

## Importance of Material Selection in Design of Electric Vehicles

### ABSTRACT

Electric vehicles (EVs) have been developed as an alternative to cars with fossil-fuel engine in consequence of that fossil fuels are incompetence due to increase in population. It is aimed that Green House Gases after fossil-fuel consumption will be reduced by prevalence of electric vehicles. Short ranges, long charging times and high cost are challenges that prevent wide spreading of EVs. Considerable part of costs result from battery expenditure, however, EVs need more batteries for more range. But more battery means shortening the range due to its weight. Lightweight materials are utilized to expand range of vehicle with less battery. Availability, environmental impact, strength and costs must be considered on design stage. In this study, lightweight materials and material selection process are investigated in order to lighten of EVs.

**Keywords:** Lightweight vehicles, automotive parts, alternative materials, recycling, ecological vehicles

---

\* İletişim Yazarı

Geliş/Received : 15.06.2017

Kabul/Accepted : 26.09.2017

<sup>1</sup> Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya - fatihguven@akdeniz.edu.tr

<sup>2</sup> Prof. Dr., Akdeniz Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Antalya - hrende@akdeniz.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Elektrikli araçlar, hareket enerjisini elektrikten sağlayan araçlara verilen genel addır. Bu araçların yaygınlaşması ile fosil yakıtlarla çalışan motorlu araçlardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> salınımının azalacağı düşünülmektedir. Elektrikli araçların çevresel etkilerinin yanı sıra ekonomik kullanım için çalışmalar devam etmektedir [1]. Hâlihazırda birçok otomobil üreticisi elektrikli araçlar için araştırma-geliştirme faaliyetleri sürdürmektedir.

Günümüzde elektrikli araçların yaygınlaşmasının önündeki temel sorunlar, araçların üretim maliyetlerinin ve dolayısıyla pazar fiyatlarının yüksek olması, tam dolum ile tek seferde kat edilebilecek mesafe (menzil) ve batarya dolum (şarj) sürelerinin yüksek olmasıdır [2]. Bu açıdan bakıldığında çalışmalar, menzil artırma, dolum sürelerinin azaltılması veya alternatif dolum yöntemlerinin geliştirilmesi ve maliyetlerin asgariye çekilmesi yönünde ilerlemektedir.

Yakıt tasarrufu sağlaması ve çevre koruma amaçlı üretilen elektrikli araçların hareket sistemi bataryalardan dolayı toplam araç ağırlığının %20'sini oluşturmaktadır [3]. Elektrikli araçlarda kullanılan bataryalar aynı zamanda önemli bir maliyet unsurudur. Maliyet düşünülerek batarya kapasitesinin azaltılması menzil sorununa yol açmaktadır. Bu durumda ise ara istasyonlarda hızlı dolum veya tam dolu batarya ile hızlı değiştirme ile aracın zaman kaybı olmadan yoluna devam etmesinin sağlanması planlanmaktadır. Ancak bu durumda da alt yapının son derece sistematik olması gerekmektedir. Bir diğer menzil artırma yöntemi ise aracın hareket halinde iken şarj edilmesidir. Bunun için güneş panelleri gibi anlık enerji üreteçlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak güneş panellerinin verimi ve maliyeti dikkate alındığında bu fikir şu an için pratik görünmemektedir [1].

Aynı zamanda bu çalışmanın konusu olan enerji etkin kullanımda ise var olan batarya ile azami menzil sağlanmasıdır. Bunun için aracın, yeteri dayanımdaki alternatif malzemeden imal edilmiş parçalardan üretilerek hafifletilmesi istenmektedir. Hafif araçlar emsallerine göre daha az yakıt tüketimi ile eşit mesafede yol gidebilmektedir. Başka bir deyişle, tam dolu yakıt deposu ile (fosil veya elektrik) daha fazla yol kat edebilmektedir.

Genel olarak yolcu araçlarının kendi ağırlıklarını ve yolcuları taşımak için tükettikleri enerji, üretimden geri dönüşüme kadar olan ömürleri boyunca kullandıkları enerjinin yaklaşık %86'sıdır [4]. Araçtan atılan her bir kg için tek şarjda 3 km daha fazla yol alınmaktadır [5].

Alüminyum alaşımları, kompozitler ve plastiklerin alternatif olarak havacılık sektöründe kullanıldığı bilinmektedir. Bu malzemelerin araçlar için maliyet/dayanım ora-





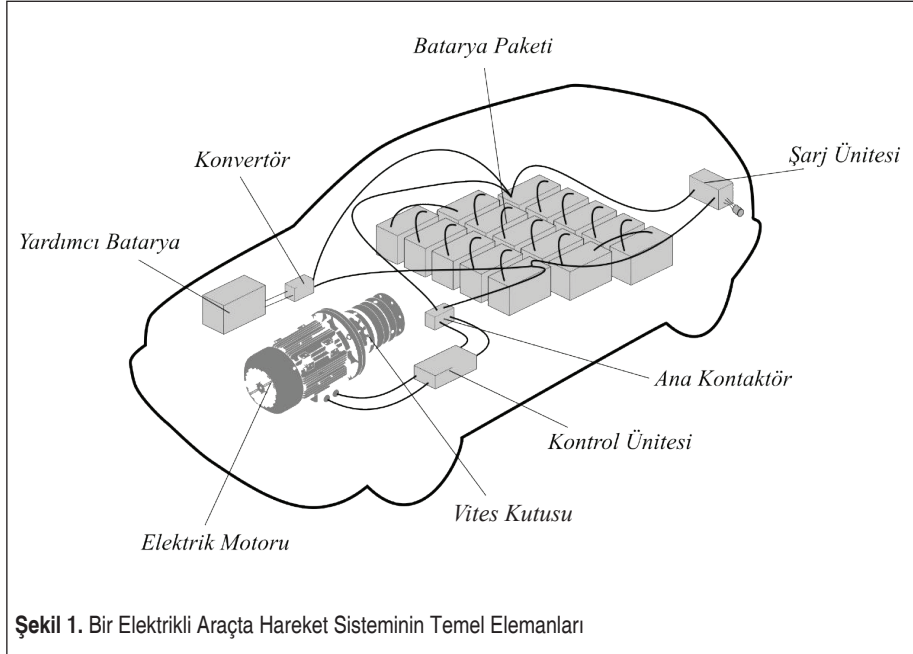
nında optimize edilerek elektrikli araçlarda kullanılması ile güvenilirlikten ödün vermeden hafif araçlar üretilebilecektir.

Elektrikli araçlarda kullanılacak malzemelerin emsallerine göre hafif, seri üretime uygun, uzun ömürlü ve çevreci olması gerekir. Hafif malzemelerin araçlarda kullanımı aracın hızlanma ve sürüş performansına, titreşim ve ses gibi özelliklerinin iyileştirilmesine de katkı sağlamaktadır [6]. Bu çalışma kapsamında, elektrikli araç endüstrisinde kullanılan malzemeler ve malzeme seçiminin önemi incelenmiştir.

## 2. ELEKTRİKLİ ARAÇLAR

Elektrikli araçlar, temiz enerji sunması, fosil yakıtların mevcut ihtiyacı karşılamada yetersiz kalması ve yakıt maliyetinin artması gibi sebeplerden dolayı karayolu ulaşımında alternatif olarak sunulmuştur. Şekil 1’de bir elektrikli aracın yapısı görülmektedir.

Temel olarak bataryaya depolanmış olan enerjinin elektrik motorlarını harekete geçirmek için kullanılması prensibine dayanmaktadır. Günümüzde tamamen elektrikli veya hibrit olarak kullanımı mevcuttur. 2016 yılı itibarıyla birçok otomotiv üreticisi elektrikli araç üretimi yapmaktadır. Elektrikli araçlardaki sorun, fosil yakıtlı araçlara kıyasla, menzilin kısa olmasına karşın maliyetinin yüksek olmasıdır.



Yakıt ekonomisi ile maliyetini amorti edebilse de menzilin kısa olması ve uzun şarj süreleri tercih edilmesinin önündeki engeldir. Nitekim ülkemizdeki satılmış elektrikli araç sayısı 2015 yılı için 91 adetle sınırlı kalmıştır [7]. Dünya genelinde ise elektrikli araç üretiminde ve satışında son yıllarda artış gözlenmektedir. 2015 yılı Ağustos ayı itibarıyla dünya genelinde bir milyonun üzerinde elektrikli araç satılmıştır [8].

Avrupa Komisyonu'nun araç sürücülerinin sürüş ve park alışkanlıkları araştırmasına göre, günlük sürüş mesafeleri Polonya ve İspanya için 70 km'den fazla iken Birleşik Krallık için 40 km, Almanya, İtalya ve Fransa için 50 ila 60 km arasındadır [9]. Tablo 1'de, Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Çevre Koruma Ajansı'nın verilerinden alınan bazı elektrikli araçların özellikleri görülmektedir [10].

**Tablo 1.** Bazı Elektrikli Araçların Özellikleri

Model	Motor	Yakıt Ekonomisi (Birleşik/Şehir içi/ Otoyol)		M	ŞŞ (saat)	YYM (USD)
		MPGe	kWh/100 mil			
Smart ForTwo	55 kW DCPM	107/122/93	32/28/36	68	6	500
Fiat 500e	82 kW AC İndüksiyon	112/121/103	30/28/33	84	4	600
BMW i3 BEV	125 kW AC İndüksiyon	124/137/111	27/25/30	81	4	550
Chevrolet Spark EV	125 kW ACPM	119/128/109	28/26/31	82	7	550
Mitsubishi i-MIEV	49 kW DCPM	112/126/99	30/27/34	62	7	600
Ford Focus Electric	107 kW AC PMSM	105/110/99	32/31/34	76	3,6	600
Volkswagen e-Golf	85 kW AC PMSM	116/126/105	29/27/32	83	7/3,7	500
Mercedes-Benz	132 kW AC İndüksiyon	84/85/82	40/39/41	87	3,5	800
Nissan Leaf (30 kW-h BP)	80 kW DCPM	112/124/101	30/27/33	107	6	600
Tesla Model S(90 kW-h BP)	285 kW AC İndüksiyon	89/88/90	38/38/37	265	12/4,8	750
KIA Soul Electric	81 kW AC PMSM	105/120/92	32/28/37	93	4	600
<p>M : Menzil (%55 şehir içi ve %45 otoyol) (mil, 1 mil=1,609344 km)  ŞŞ : Şarj süresi (*Normal/Hızlı şarj)  YYM : Yıllık yakıt maliyeti (Amerikan doları)  DCPM : Doğru akım sürekli mıknatıs fırçasız motor  PMSM : Sürekli mıknatıs senkron motor  MPGe : Galon başına mil eşdeğeri</p>						



Elektrikli araçların menzilinı artırmak için batarya kapasitesinin artırılması maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle, kullanılan batarya sayısını ve kapasitesini optimize ederek aracın hafifletilmesi menzilinı artıracaktır. Yapılan çalışmalarda, araç ağırlığının %10 azalmasına karşılık %3-%7 oranında yakıt tasarrufu sağlandığı görülmüştür [11,12].

### 3. ARAÇ ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN MALZEMELER

Otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerin bulunabilir, çevreci, düşük maliyetli ve güvenli olması istenmektedir. Bu açıdan kullanılacak malzemenin görevini yerine getirecek ölçüde etkin bir şekilde seçilmesi önemlidir. Mühendislerin kaliteli çevreci malzemeleri kullanırken maliyeti de göz önüne alarak uygun değerleri elde etmeleri gerekmektedir [13]. Otomotiv endüstrisinin malzemeden beklentileri Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Otomotiv Endüstrisinin Malzemeden Beklentileri [13]

İhtiyaç	Eylem	Malzemenin önemi
Kaynakların korunması Çevrenin korunması	Tüketimin azaltılması Araç ağırlığının azaltılması	Hafif metallerin kullanımı Etkinlik/Ağırlık oranı Düşük sürtünmeli malzeme çifti
	Kirletici gazların azaltılması - Kullanımda - Üretimde	Toksik olmayan malzeme kullanımı Düşük emisyonlu işlem
	Gerı dönüşüm	Gerı dönüştürülebilir malzeme Yeniden kullanılabilir plastik malzeme uygulamaları Yenilenebilir organik malzeme kullanımı
Düşük fiyat	Geliştirme ve üretimde maliyetin düşürülmesi	Düşük fiyatlı malzeme kullanımı Düşük maliyetli üretim süreci

Günümüzde ortalama bir yolcu aracının yaklaşık olarak %75’i, büyük bir çoğunluğu düşük karbonlu olmak üzere metallerden oluşmaktadır [14]. 2020 yılında kadar bir araçta kullanılan malzemelerin %55 metal, %18 plastik, %7 kauçuk ve kalan kısmının da çeşitli malzemelerden oluşacağı tahmin edilmektedir [3].

Otomotiv endüstrisinde geliştirilen malzemelerin iki ayrı odak noktası söz konusudur. Bunlar aracın hareket sistemini ve gövdesini oluşturan parçalardır. Elektrikli araçların hareket sistemi güç kaynağı (batarya), aktarma organları ve elektrik motorundan oluşmaktadır. Dolayısıyla hareket sisteminde kullanılan malzemeler direkt olarak bu elemanlardan etkilenmektedir. Gövdesinde ise araç güvenliğini, konforu ve çevresel koşulları dikkate alarak çeşitli malzemeler kullanılmaktadır.

Literatürde, araç ağırlığını azaltabilmek için yüksek dayanımlı çelikler, alüminyum, magnezyum, plastikler ve kompozitler gibi birçok malzeme önerilmektedir [15].

### 3.1 Metaller

#### Çelikler

Çelik ve döküm ortalama bir aracın dörtte üçünü oluşturduğu için daha etkin kullanımı ile ağırlık azaltılmasında önemli bir rol oynar. Çelikler çarpışmada darbe enerjisini sönmüleme özelliğinden dolayı otomobillerde önemli bir malzemedir [16]. Çeliklerin iyi şekillenebilir olması ve birleştirme özelliğinin üstün olması otomotiv tasarımında ilk tercih haline gelmesini sağlamıştır [17]. Otomobillerde büyük oranda kullanılan çeliklerin dayanımlarının yüksek olmasına karşın, yoğunluklarının da yüksek olması nedeniyle düşük yoğunluklu alternatif malzemeleri gündeme getirmiştir. Ancak halen çelikler araçlarda en çok kullanılan malzemedir.

Çeliklerin birim kütesinden daha fazla verim almak için mekanik özellikleri geliştirilerek kullanılmaktadır. Bunlara genel olarak geliştirilmiş yüksek dayanımlı çelikler (AHSS) ismi verilmektedir. Yüksek dayanımlı çeliklerin çift fazlı (DP), faz dönüşümü kaynaklı plastiklik (TRIP), karışık fazlı (CP) ve martenzitik (MART) çelik türleri mevcuttur [18]. Yüksek dayanımlı çelikler (HSS) akma dayanımları 210 MPa ila 550 MPa arasında değişirken, ultra yüksek dayanımlı çeliklerin (UHSS) akma dayanımları 550 MPa'dan fazladır. Geleneksel çeliklere nazaran %50 daha fazla maliyetli olmalarına rağmen, hedef dayanım için daha ince sac kalınlığına ulaşabilirler [19]. Yüksek dayanımlı çeliklerin, kütle tasarrufu sağlamanın yanında, çarpışmada güvenlik açısından etkin olması diğer demir olmayan metallerle rekabet edebilmesine olanak tanır [18].

#### Alüminyum

Otomobilde alüminyum döküm yaygın olarak kullanılmaktadır. Alüminyum, otomobil jantlarında, konsolda, fren sisteminde, süspansiyonda, yönlendirme (direksiyon) sisteminde ve gösterge panelinde kullanılmaktadır [19].

Alüminyumun maliyeti ve fiyat istikrarı sac kullanımının önündeki en büyük engeldir. Otomotiv sektöründe alüminyumun kullanımı için önemli çalışmalar yapılmaktadır. Özellikle alüminyumun otomobil gövdesinde kullanımı ağırlık azaltılması açısından önemlidir. Çelik yerine alüminyum kullanılması durumunda toplam araç ağırlığından %20-%30 oranında tasarruf edilebilmektedir [19].

Alüminyum, gövdede çeliklere benzer şekilde üretilebileceği gibi, yürüyen aksam olarak döküm, ekstrüzyon ve kaynaklı birleştirme ile üretilebilir [20]. Tablo 3'te alüminyum ve çeliklerin bazı özellikleri kıyaslanmıştır.



**Tablo 3.** Paslanmaz Çeliklerin, 6061 Alüminyum Alaşımının ve Yüksek Dayanım Çeliğinin Karşılaştırılması [21]

Özellik	DP <sup>1</sup>	Östenitik Paslanmaz Çelik			6061 Al Alaşımı		HSLA
		Tavlanmış	C850 <sup>2</sup>	C1000 <sup>3</sup>	T4 <sup>4</sup>	T6 <sup>5</sup>	
Yoğunluk [g/cm <sup>3</sup> ]	7,8	7,9	7,9	7,9	2,7	2,7	7,83
Akma Dayanımı $\sigma$ [N/mm <sup>2</sup> ]	640	370	600	880	130	275	410
$\sigma/\rho$ oranı	82	46,8	76	111,4	48,1	100	52,4
1) Çözelti tavlaması uygulanmış 2) Soğuk işlenmiş durumda C850 (850<Çekme Dayanımı<1000) 3) Soğuk işlenmiş durumda C1000 (1000<Çekme Dayanımı<1150) 4) Isıl işlem uygulanmış 5) Çökeltme işlemi uygulanmış DP: Çift Fazlı Paslanmaz Çelik HSLA: Yüksek dayanımlı düşük alaşım çeliği							

## Magnezyum

Magnezyum düşük yoğunluğuna karşın sunduğu yüksek dayanım ile otomotiv sanayinde, araç ağırlığının düşürülmesi amacıyla çelik, döküm ve alüminyuma alternatif olarak kullanılmaktadır. En düşük yoğunluktaki çeliğin yaklaşık 7,2 g/cm<sup>3</sup>, alüminyumun 2,7 g/cm<sup>3</sup> olduğu göz önüne alındığında magnezyum 1,8 g/cm<sup>3</sup> yoğunluğu ile önemli bir alternatiftir [22]. Hâlihazırda magnezyum, otomobillerin direksiyonlarında, göstergelerde, kapı çerçevesinde ve koltuklarda kullanılmaktadır [4]. Şunu da belirtmek gerekir ki, magnezyumun çeliğe göre dörtte bir yoğunluğa sahip olması aracın ağırlığının %75 azalacağı anlamı taşımamaktadır [23]. Magnezyum ince kesitlerde eğilmeye karşı yüksek mukavemet, rijitlik, dayanım ve enerji sönmüleme özelliklerini sağlarken yüksek oranda kütle tasarrufu sağlayabilir [22].

Magnezyum alaşımları, alüminyum alaşımları ile benzer sıcak deformasyon özelliklerine sahip olduğu için kalıpta üretilebilir. Kalıpta dövme ve döküm ile nihai parça şekline yakın üretim yapılabilir. İnce sac olarak üretimi mümkün olduğu için kütle tasarrufuna uygundur. Aynı zamanda magnezyum alaşımlı parçaların ergitme kaynağı ve sürtünme karıştırma kaynağı yöntemleri ile de üretimi mümkündür [4].

## 3.2 Kompozitler

Lif destekli polimer matris (FRP) kompoziti, araçların hafifletilmesinde kullanılırken, dayanım, korozyon direnci ve darbe sönmüleme gibi avantajları da beraberinde

getirir. Ancak yüksek maliyet, yavaş üretim hızı, geri dönüşümündeki sıkıntılar ve otomotiv endüstrisinin kompozit konusundaki tecrübesizliği yaygınlaşmasını engellemektedir [24]. Polimer matris için en çok kullanılan lif takviyeleri karbon ve cam fiberdir. Cam takviyeli polimer matris kompozitinin (GFRP) kullanımı ile %20 - %35 civarında, karbon takviyeli polimer matris kompozitinin (CFRP) kullanımı ile %40 - %60 civarında ağırlık tasarrufu sağlanacağı tahmin edilmektedir [25].

### 3.3 Polimerler

Plastiklerin petrol bazlı malzemeler olmasından dolayı kullanımında bazı sorunlar bulunmaktadır. Fiyatı petrol fiyatlarından direkt olarak etkilenmektedir. Ayrıca, kullanılan plastik malzemenin çevresel etki açısından yeniden kullanılabilir türden olması gerekir. Araçlarda kullanılan plastiklerin yüzden fazla çeşidi bulunmakta ve özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Plastiklerin otomotiv sanayinde seçimi, görüntü, rijitlik, dayanım, ağırlık ve maliyet ekseninde değerlendirilmektedir [3].

### 3.4 Köpük

Danimarkalı tasarım ekibi olan EcoMove tarafından geliştirilen ve ARPRO® Inrekor™ köpük şase ile hafifletilmiş bir elektrikli araç örneği batarya hariç 400 kg ağırlığındadır. Bu ağırlık eşdeğerdeki geleneksel bir araç ağırlığının yaklaşık olarak üçte birine denk gelmektedir [5].

### 3.5 Doğal Malzemeler

Hafif ve düşük maliyetli olan doğal lifler iç ve dış otomobil parçasında cam ve mineral dolgu yerine kullanılabilme imkânına sahiptir. Geçen yıllarda Avrupalı otomobil üreticileri doğal lifli kompozitlerin kapı panellerinde, koltuklarda, tavan döşemesinde, bagaj konsolunda ve ön göğüs konsolunda kullanımını uygun görmüşlerdir. Kenaf bitkisi, kendir, keten, jüt ve sisal gibi doğal lifler otomobil parçalarının güçlendirilmesinde kullanılırken düşük ağırlık, düşük maliyet, düşük CO<sub>2</sub> salınımı ve daha az petrol bağımlılığı gibi faydalarının yanı sıra çevre dostudur [19].

## 4. MALZEME SEÇİMİ

Otomotiv endüstrisinde çok sayıda malzeme çeşidi kullanılmaktadır. Bu malzemelerin alt sınıfları ve her sınıftaki malzemenin farklı mekanik özellikleri bulunmaktadır. Fonksiyon, malzeme, şekil ve üretim yöntemi bir bütün olarak düşünülmektedir [26]. Seçilen malzemenin tasarım ilkeleri gereği fonksiyonu yerine getirmesi, zorlama şekline uygun olması, şekillendirme ilkelerine uygun olması, montaj ve imalata uygun olması, maliyetinin uygun olması ve çevresel etkilerinin standartlara uygun olması



gerekir. Tüm bunların tek bir malzemede bir araya gelmesi ender bir durum olduğundan, bu ilkeleri mümkün olduğunca sağlayan bir malzemenin seçilmesi gerekir.

Malzeme seçiminde genel olarak 4 temel aşama söz konusudur: belirleme, inceleme, sıralama, araştırma. Belirleme aşamasında malzemedeki beklentiler ve gereksinimler belirlenir. İnceleme aşamasında gereksinimleri sağlamayan, fonksiyonu yerine getirmeyen malzemeler elenir. Kalanlar sıralama aşamasında değerlendirmeye tabi tutulur. Araştırma aşamasında aday malzemeleri detaylı özellikleri değerlendirilerek seçim tamamlanır [26].

Yasal düzenlemeler, kirletici gaz salınımlarının azaltılmasını, gelişmiş yolcu güvenliğini, yakıt ekonomisini, işyerlerindeki gaz salınımlarının azaltılmasını, güvenliği ve zehirleyici malzemelerin bertarafını zorunlu tutmaktadır [19].

Elektrikli araçlar çevreci olarak sunulan özel araçlardır. Bu araçların imalat, kullanım ve geri dönüşüm süreçlerinde çevresel etkileri ön plandadır. Bu açıdan, kullanılan malzemelerin yatırım maliyeti ile birlikte çevresel etkileri de dikkate alınmalıdır. Ancak bu araçların yüksek pazar fiyatlarında sunulması satışlarını olumsuz etkileyeceğinden, bu araçların piyasaya sunulma nedeni olan düşük kirletici gaz salınımı ve temiz enerji hedefine ulaşılması zorlaşacaktır. Çevreci, ucuz ancak hantal malzemeler ise aracın menzilinin kısa olmasına sebebiyet verdiği için malzeme geliştiricileri ve otomotiv üreticilerinin çözmesi gereken bir sorundur. Şu durumda bir elektrikli aracın üretiminde, fonksiyonu yerine getirecek, çevreci, düşük maliyetli ve hafif malzemeler tercih edilmelidir.

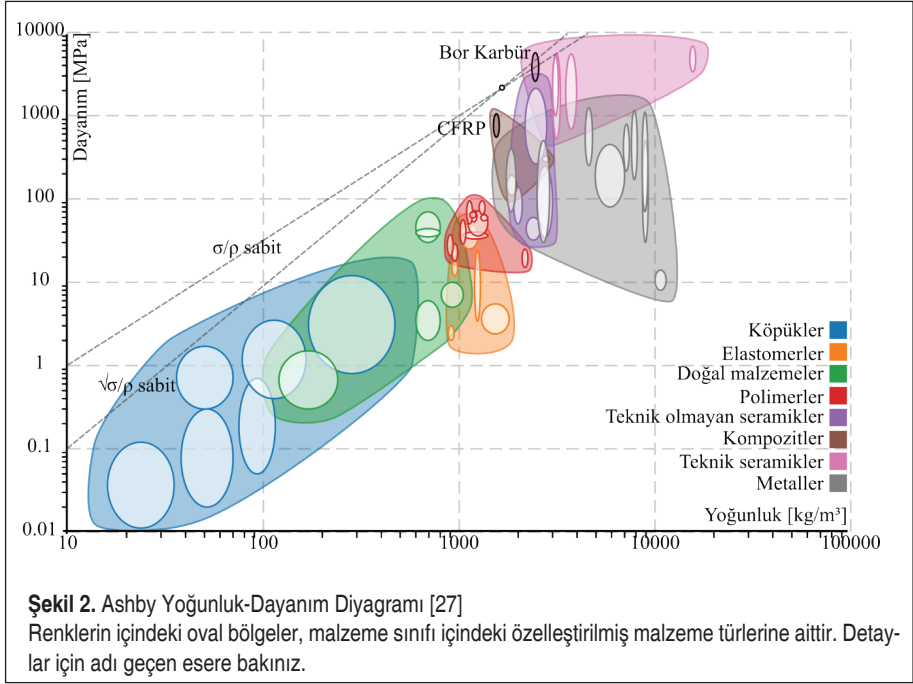
Bir araçta her parçanın fonksiyonu ve gereksinimi farklıdır. Öncelikle ilgili parçanın gereksinimi belirlenmelidir. Bu parçanın fonksiyon, şekil ve işleme gereklilikleri dikkate alınarak malzeme seçilmesi uygundur.

### **Hafif Malzemeler**

Malzeme seçimi için, otomobil parçasının taşıyacağı yükü emniyetle karşılayacak olan hafif malzemelerin belirlenerek kütle tasarrufu sağlanır. Elektrikli araçlarda kullanılan malzemelerin hafif olması enerji gereksinimini azaltacağı için çevresel etkiler açısından önemlidir. Şekil 2’de görülen Ashby yoğunluk-dayanım diyagramında [26] çeşitli malzemeler bir arada sunulmuştur.

### **Çevresel Etkiler Açısından Malzeme Seçimi**

Elektrikli araçların çevreci araçlar olarak sunulması kullanılan malzemeler ve imalat süreci üzerindeki baskıları artırmaktadır. Dolayısıyla bir elektrikli araçta seçilecek malzemenin, üretim, kullanım ve geri dönüşüm aşamalarında çevresel etkileri değerlendirilmektedir [19].



Tercih edilen malzemelerin, hammaddeden geri dönüşüme kadar, emisyon ve enerji gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olması için birçok otomobil üretici tasarım aşamasında yaşam döngüsü analizi yapmaktadır [28].

Şekil 3'te, otomotiv endüstrisinde kullanılan malzemelerin yaşam döngüsü değerlendirilmesi görülmektedir.

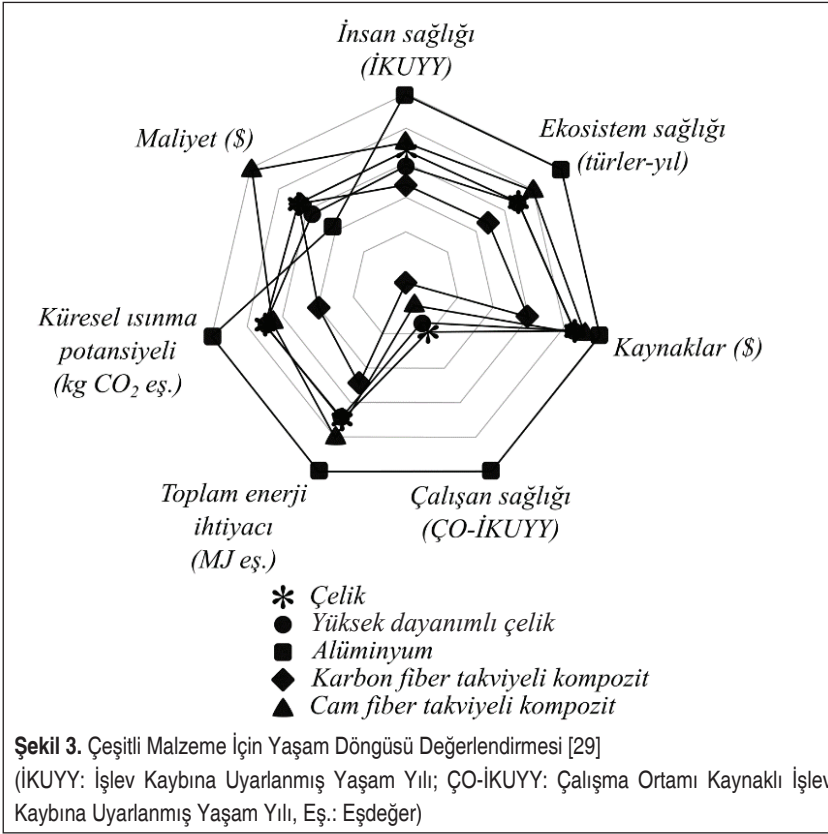
### Güvenlik

Araçların güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için çarpışma testlerinden geçmesi gerekir. Çarpışma esnasında, çarpışmanın şekline göre aracın farklı parçalarında farklı zorlanmalar meydana gelir. Araç güvenliği açısından zorlamaya maruz kalan parçanın sadece malzemesi değil, aynı zamanda geometrisi de önem kazanır [28].

Otomobillerde güvenlik için daha çok içi boş profiller tercih edilir [30]. Çarpışma açısından seçilen malzemenin profil olarak kullanmaya uygun ve enerji sönümleme özelliğinin iyi olması beklenir. Tablo 4'te, enerji sönümleme özelliği açısından bazı malzemeler kıyaslanmıştır.

Tablo 4'e bakıldığında, genel olarak, alüminyum köpükleri alüminyum alaşımlarına ve ultra yüksek dayanımlı çeliklere göre daha iyi performans sağlarken, kompozitler





ve magnezyum diğer malzemelere göre çok daha iyi sönümleme özelliğine sahiptir [31].

### Maliyet

Malzemenin birim satış fiyatının yüksek olması, malzemenin yüksek maliyetli olması anlamına gelmemektedir. Yüksek dayanımlı bir malzeme emsaline göre daha az ağırlıkla mukavemet sağlayacağından birim satış fiyatı tek başına bir ölçüt değildir.

Bir ürün maliyeti, hammadde fiyatı, işleme, işletme, bakım ve geri dönüşüm maliyetleri dikkate alınarak belirlenir [32]. Seçilecek malzeme için yaşam döngüsü maliyeti analizi yapılmalıdır. Bir elektrikli aracın, fosil yakıtlı araçlara göre satış fiyatı yüksek olabilir; ancak yaşam döngüsü maliyeti dikkate alındığında, toplam maliyeti daha düşük olabilir. Elektrikli araçların satın alım fiyatı yüksek olmasına karşın kullanım (işletme) maliyeti fosil yakıt fiyatlarının yüksek olması nedeniyle daha düşüktür. Ülke bazında bakıldığında ise fosil yakıtlı araçların oluşturduğu kirliliğin etkisini azaltmak

**Tablo 4.** Bazı Malzemelerin Enerji Kırılımı [31]

	Malzeme*		Yoğunluk	Enerji Kırılımı/ Birim Hacim [MJ/m <sup>3</sup> ]	Enerji Kırılımı/ Birim Kütle [MJ/kg]
Al Köpük	Cymat Köpük	(0,2)	560	6,3	0,01
	Alulight Köpük	(0,35)	1000	11,2	0,011
	Alporas Köpük	(0,1)	250	1,394	0,006
	ERG Köpük	(0,1)	250	2,7	0,011
	Duracore Köpük	(0,35)	1000	17	0,017
UYDS	DP500		7800	70	0,009
	DP600		7800	66,5	0,009
	TRIP800		7800	132,3	0,016
	CP-W800		7800	64	0,008
	MS-W1200		7800	52	0,007
Al	AA5454-H2		2680	26,5	0,01
	AA5454-H4		2680	23,8	0,009
	CFRP		1570	188,4	0,120
	Magnezyum		1945	55,35	0,028
Al: Alüminyum, UYDS: Ultra Yüksek Dayanımlı Çelikler, CFRP: Karbon Fiber Takviyeli Kompozit * Köpükler için parantez içindeki değerler bağıl yoğunluklardır.					

için yapılan çalışmaların maliyeti, daha az kirlilik oluşturacağı düşünülen elektrikli araçların yaygınlaşması ile daha az olacaktır.

Bir başka açıdan bakıldığında ise elektrikli araçta kullanılacak malzemenin imalat maliyeti yüksek olmasına karşın, hafif ve çevreci bir malzeme ise kullanım ve geri dönüşüm maliyetleri açısından değerlendirildiğine daha ekonomik olacaktır.

Alüminyum ve magnezyum alaşımlarının maliyeti, mevcutta kullanılan çelik ve dökme demire göre yüksektir. Üretim zamanı, işlenebilirlik, değişik sac kalınlıklarında kullanılabilirlik, ölçü toleransları, daha az parça montajı ihtiyacı ve son parça şekline yakın üretim gibi özellikler değerlendirildiğinde, dökme demir ve çeliklere kıyasla, alüminyum döküm ve magnezyum parçalar daha az maliyete sahip olabilir. Dövülebilir alüminyum ve magnezyum parçalar, demir içerikli parçalara göre daha pahalı olabilir. Maliyeti yüksek olabileceğinden, hafif metallerin seçiminde karar verirken işlevsellik dikkate alınmalıdır.



## 5. SONUÇ

Elektrikli araçların yaygınlaşması için, menzilin artırılması, maliyetinin azaltılması ve şarj sorunun çözülmesi gerekir. Bu araçların aynı kapasitedeki batarya ile daha fazla yol kat edebilmeleri için ağırlıklarının azaltılması gerekir. Ağırlığının azaltılması ile menzili artacak olan elektrikli araçlar daha az batarya kapasitesine ihtiyaç duyacağından önemli bir maliyet unsuru olan bataryaların miktarının azaltılması sağlanabilir.

Bu araçların üstlendikleri görev açısından çevresel etkisine bakıldığında, emisyonlarının olabildiğince düşürülebilmesi için kullanılan malzemenin üretim, kullanım, bakım ve geri dönüşüm aşamalarının değerlendirilmeye alınması gerekir. Malzemenin sadece hafif olması kullanıma uygun olduğu anlamına gelmez. Hammaddeyi ürüne dönüştürmek için uygulanan işlemlerinde çevreci olması gerekir. Ayrıca, kullanılan malzemelerin ömürlerini tamamladıktan sonra geri dönüştürülebilir olması gerekir.

Seçilen malzemenin hafif olması kullanım aşamasında yakıt tasarrufu sağlayacak olmasından dolayı avantajlı görünse de üretim ve geri dönüşüm maliyetleri veya çevresel etkilerinin bertaraf edilmesi için kullanılacak kaynakların maliyeti dikkate alındığında, eşdeğer malzemeye göre toplam maliyetinin yüksek olması söz konusudur.

Elektrikli araçların kullanım esnasında güvenliği tehlikeye atmaması için zorlamalara uygun malzemelerin kullanılması önemlidir. Güvenliğin sağlanabilmesi için malzemenin yanı sıra geometrisi de önemlidir. Dolayısıyla malzemenin kullanılacağı yere göre şekillendirilebilme, dayanım ve enerji sönmüleme gibi ihtiyaçları karşılaması gerekir.

Sonuç olarak, seçilecek malzemenin hammaddeden geri dönüşüme kadar tüm aşamaları dikkate alınarak seçim yapılması gerekir.

## KAYNAKÇA

1. **Larminie, J., Lowry, J.** 2003. *Electric Vehicle Technology Explained*, John Willey & Sons LTD, Oxford.
2. **Chan, C. C.** 2001. *Modern Electric Vehicle Technology*. Oxford University Press, New York.
3. **Rouilloux, G., Znojek, B.** 2012. "Plastics. The Future for Automakers and Chemical Companies," [https://www.atkearney.com/documents/10192/244963/Plastics-The\\_Future\\_for\\_Automakers\\_and\\_Chemical\\_Companies.pdf](https://www.atkearney.com/documents/10192/244963/Plastics-The_Future_for_Automakers_and_Chemical_Companies.pdf), son erişim tarihi: 20.04.2016.
4. **Watarai, H.** 2006. "Trend of Research and Development for Magnesium Alloys-Reducing the Weight of Structural Materials in Motor Vehicles," *Science and Technology Trends*, vol. 2.
5. **Ashley, S.** 2012. "Lightweight Sandwich Structures for EV Chassis," <http://articles.sae.org/11744/>, son erişim tarihi: 20.04.2016.



6. Center for Automotive Research. 2011. Automotive Technology: Greener Products, Changing Skills-Lightweight Materials & Forming Report, U.S. Employment and Training Administration, <http://www.drivingworkforcechange.org/reports/lightweightMaterials.pdf>, son erişim tarihi: 21.04.2016.
7. Habertürk. 2015. “Elektrikli Otomobil Sayısı Artıyor,” <http://www.haberturk.com/ekonomi/otomobil/haber/1150121-elektrikli-otomobil-sayisi-artiyor>, son erişim tarihi: 26.03.2016.
8. Cobb, J. 2015. “One Million Global Plug-in Sales Milestone Reached,” <http://www.hybridcars.com/one-million-global-plug-in-sales-milestone-reached/>, son erişim tarihi: 23.03.2016.
9. Pasaoglu, G., Fiorello, D., Martino, A., Scarcella, G., Alemanno, A., Zubaryeva, A., Thiel, C. 2012. Report EUR 25627 EN: Driving and Parking Patterns of European Car Drivers - A Mobility Survey, Joint Research Centre of the European Commission, Netherlands, [https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Driving\\_and\\_parking\\_patterns\\_of\\_European\\_car\\_drivers-a\\_mobility\\_survey.pdf](https://setis.ec.europa.eu/sites/default/files/reports/Driving_and_parking_patterns_of_European_car_drivers-a_mobility_survey.pdf), son erişim tarihi: 16.03.2016.
10. U.S. Department of Energy. Fuel Economy Guide, DOE/EE-1249, <https://www.fueleconomy.gov/feg/pdfs/guides/FEG2016.pdf>, son erişim tarihi: 30.04.2016.
11. Pagerit, S., Sharer, P., Rousseau, A. 2006. “Fuel Economy Sensitivity to Vehicle Mass for Advanced Vehicle Powertrains,” SAE Technical Paper 2006-01-0665, 2006, <https://doi.org/10.4271/2006-01-0665>.
12. Ashley, S. 2010. “Shedding Pounds on a Magnesium Diet,” *Automotive Engineering International*, p. 34–36.
13. Wilhelm, M. 1993. “Materials used in Automobile Manufacture - Current State and Perspectives,” *Journal de Physique IV Colloque*, vol. 3, p. 31–40.
14. Ashley, S. 2013. “Lightweight Materials Compete for Automakers’ Attention,” <http://articles.sae.org/12090/>, son erişim tarihi: 21.04.2016.
15. Kollamthodi, S., Duncan, K., Ian, S., Craig, D., Hausberger, S. 2015. The Potential for Mass Reduction of Passenger Cars and Light Commercial Vehicles in Relation to Future CO2 Regulatory Requirements, Report for the European Commission – DG Climate Action, Ricardo-AEA, [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/ldv\\_downweighting\\_co2\\_report\\_en.pdf](https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/ldv_downweighting_co2_report_en.pdf), son erişim tarihi: 21.04.2016.
16. Marsh, M. 2000. “Development of Auto Body Sheet Materials for Crash Performance,” Conference of Materials and Structures for Energy Absorption, 9 May 2000, London.
17. Magnusson, C., Andersson, R. 2001. “Stainless Steel as a Lightweight Automotive Material,” <http://www.bssa.org.uk/cms/File/Conf%2003%20SS%20as%20a%20Lightweight%20Automotive%20Material.pdf>, son erişim tarihi: 18.03.2016.
18. Kuziak, R., Kawalla, R., Waengler, S. 2008. “Advanced High Strength Steels for Automotive Industry,” *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol. 8 (2), p. 103–117.



19. **Ghassemieh, E.** 2011. "Materials in Automotive Application, State of the Art and Prospects," in *New Trends and Developments in Automotive Industry*, Marcello Chiaberge (editor), DOI: 10.5772/1821.
20. **Cole, G. S., Sherman, A. M.** 1995. "Lightweight Materials for Automotive Applications," *Materials Characterization*, vol. 35 (1), p. 3–9.
21. **Cunat, P. J.** 2000. "Stainless Steel Properties for Structural Automotive Applications," *Metal Bulletin International Automotive Materials Conference*, 21-23 June 2000, Cologne.
22. **Easton, M., Beer, A., Barnett, M., Davies, C., Dunlop, G., Durandet, Y., Blacket, H. T., Beggs, P.** 2008. "Magnesium Alloy Applications in Automotive Structures," *Journal of Minerals, Metals, and Materials*, vol. 60 (11), p. 57–62.
23. **Easton, M., Gibson, M., Beer, A., Barnett, M., Davies, C., Durandet, Y., Blacket, S., Chen, X., Birbilis, N., Abbott, T.** 2012. "The Application of Magnesium Alloys to the Lightweighting of Automotive Structures," 4th International Conference on Sustainable Automotive Technologies, Springer, p. 17–23.
24. **Thilagavathi, G., Pradeep, E., Kannaian, T., Sasikala, L.** 2010. "Development of Natural Fiber Nonwovens for Application as Car Interiors for Noise Control," *Journal of Industrial Textiles*, vol. 39 (3), p. 267–278.
25. **Das, S.** 2001. *The Cost of Automotive Polymer Composites: A Review and Assessment of DOE's Lightweight Material Composites Research*, U. S. Department of Energy, U.S.
26. **Ashby, M. F.** 2011. *Materials Selection in Mechanical Design*, 4th Edition, ISBN: 978-1-85617-663-7, Elsevier, Elsevier-Butterworth-Heinemann, Oxford.
27. Wikipedia. 2016. "Material Selection," [https://en.wikipedia.org/wiki/Material\\_selection](https://en.wikipedia.org/wiki/Material_selection). son erişim tarihi: 20.04.2016.
28. **Davies, G.** 2003. *Materials for Automobile Bodies*, ISBN: 9780080969800, Butterworth-Heinemann, Elsevier-Butterworth-Heinemann, Oxford.
29. **Lloyd, S., Scanlon, K., Lengacher, D.** 2012. "Improving Life Cycle Assessment by Considering Worker Health and Comparing Alternatives Based on Relative Efficiency," *Sustainable Automotive Technologies, Proceedings of the 4th International Conference*, 21–23 March 2012, Melbourne, Edited by: Subic A, Wellnitz J, Leary M, Koopmans L. 2012, Springer, New York, p. 305-311.
30. **Rathnaweera, G., Yvonne Durandet, D., Ruan, M. H.** 2012. "Performance of Advanced High Strength Steel and Aluminium Alloy Tubes in Three-Point Bending," *Sustainable Automotive Technologies*, p. 25–32.
31. **Carruth, M.** 2011. *Design Optimization Case Study: Car Structures*, WellMet2050, University of Cambridge, Cambridge.
32. **Asiedu, Y., Gu, P.** 1998. "Product Life Cycle Cost Analysis: State of the Art Review," *International Journal of Production Research*, vol. 36 (4), p. 883–908.



## 2017 YILI MAKALE DİZİNİ

*TMMOB Makina Mühendisleri Odası tarafından ülke sanayisinin, toplumun, Odamıza üye olan meslek disiplinlerinin ve meslektaşlarımızın ihtiyaçlarını karşılamak üzere 1957'den bugüne değin yayımlanan Mühendis ve Makina Dergisi'nde 2017 yılında yer alan makalelerin dizinini siz değerli okurlarımızla paylaşıyoruz. Her sayıda ortalama 3000 baskı sayısı ve 3 aylık periyoduyla ülkemizin konusunda önde gelen dergilerinden olan Mühendis ve Makina, yeni teknolojileri, bilimsel araştırma ve inceleme konularını ve mühendisliğe ilişkin birikimleri sayfalarına taşıyarak Oda üyelerine ve ilgili kesimlere bu birikimlerini ulaştırma çabasıdadır. Dergimizde üniversiteler ve bilim-araştırma kurumlarından gelen yazıların yanı sıra, çeşitli sektörlerden gelen uygulamaya yönelik yazılara da yer verilmektedir.*

*2017 yılında dergimize makale gönderen bütün yazarlara teşekkür eder, 2018 yılında da değerli katkılarını bekleriz.*



**MÜHENDİS VE MAKİNA**  
ENGINEER AND MACHINERY

İmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı  
www.tmmob.org.tr/makina-dergisi

SOĞUTMA SIVISI BULUTUNUN VAKUMLU SANTRİFÜJ YÖNTEMİ İLE GERİ KAZANIMI VE TEMİZ HAVA ELDE EDİLMESİ  
SÜRDÜRÜLEBİLİR ÜRETİM İÇİN TALAŞLI İMALATTA KULLANILAN KESME SIVILARININ GERİ DÖNÜŞÜMÜ

Cilt/No: 58 Sayı/No: 684 Ocak/January 2017

**OCAK 2017 684. SAYI**

**Soğutma Sıvısı Bulutunun Vakumlu Santrifüj Yöntemi ile Geri Kazanımı ve Temiz Hava Elde Edilmesi**  
*Vacuumed Centrifugal Method Which is Using for Recycling and Get Clean Air from Cooling Fluid Mist*

Hakan ÇABUK, Gökçe AKKUŞ, Tuğrul SOYUSİNMEZ, Ahmet KESKİN, Anıl KAPLAN

**Sürdürülebilir Üretim İçin Talaşlı İmalatta Kullanılan Kesme Sıvılarının Geri Dönüşümü**  
*Recycling of Cutting Fluids Used in Machining Process for Sustainable Production*

Ayşegül ÇAKIR, Nergizhan KAVAK, Ulvi ŞEKER



**MÜHENDİS VE MAKİNA**  
ENGINEER AND MACHINERY

İmmob makina mühendisleri odası aylık yayın organı  
www.tmmob.org.tr/makina-dergisi

TÜRKİYE'DE MÜHENDİSLİK FAKÜLTELERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ EĞİTİMİ  
DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE EKONOMİK GÖSTERGELER-İŞ YAPMA/İŞ KURMA KOLAYLIĞI ENDEKSİ

Cilt/No: 58 Sayı/No: 685 Şubat/February 2017

**ŞUBAT 2017 685. SAYI**

**Türkiye'de Mühendislik Fakültelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimi**  
*Occupational Health and Safety Education in Engineering Faculties in Turkey*

Battal DOĞAN, Cemre YALÇINKAYA, Mehmet Gökberk BALCI

**Dünyada ve Türkiye'de Ekonomik Göstergeler-İş Yapma/İş Kurma Kolaylığı Endeksi**  
*Economical Indicators in the World and Turkey-Ease of Doing Business Index*

Erdem KOÇ, Kadir KAYA, Mahmut Can ŞENEL



MART 2017 686. SAYI

**Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi**

*Technical and Economical Evaluation of Micro-Cogeneration Systems in the Context of Global Energy Consumption*

Bilal SUNGUR, Muhammet ÖZDOĞAN,  
Bahattin TOPALOĞLU, Lütfü NAMLI

**Alüminyum ve Alaşımlarının Toz Metalurjisi İşlemleri**

*Powder Metallurgy Processing of Aluminum Alloys*

Azım GÖKÇE, Fehim FINDIK, Ali Osman KURT

NİSAN -HAZİRAN 2017 687. SAYI

**Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları**

*Energy Saving Applications in Pump and Pumping Systems*

Galip Kürşat ŞENOL, Cuma KARAKUŞ

**DP1000 Çelik Sacların Uzaktan Lazer (RLW) ve Direnç Nokta Kaynaklı (RSW) Birleştirmelerinin Çekme ve Yorulma Özelliklerinin İncelenmesi**

*Investigation of Tensile and Fatigue Properties of DP1000 Steel Sheets Joints with Remote Laser (RLW) and Resistance Spot Welded (RSW)*

Bülent AYDEMİR, Emel AYDEMİR, Erdiç KALUÇ

**Üç Boyutlu Arka Plan Konumlandırılmış Yoğunluk Farkı (Schlieren) Yöntemi ile Akış Yapılarının İncelenmesi ve Parçacık Görüntülemeli Hız Ölçümü ile Doğrulanması**

*Investigation of Flow Structures by Three Dimensional Background Oriented Schlieren Method and Validation with Particle Image Velocimetry*

Özgün ÖZER, Dilek KUMLUTAŞ, Utku Alp YÜCEKAYA

**Panjur Kanatlı Isı Değiştiricilerinin Performansının Deneysel ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Yaklaşımı ile İncelenmesi**

*Investigation of Louvered Fin Heat Exchangers Performance via Experimental and Computational Fluid Dynamics Approach*

Abdulkerim OKBAZ, Hüseyin ONBAŞIOĞLU, Ali Bahadır OLCAY, Ali PINARBAŞI

**KGİ İHS Kapsamında Anadolu Üniversitesi'nde Yapılan Çalışmalar**

*ISR UAV Studies Performed in Anadolu University*

Zafer ÖZNALBANT, Tansu FİLİK, Ömer Neziğ GEREK







## TEMMUZ-EYLÜL 2017 688. SAYI

### Bir Binaının Değişken Cam ve Dış Duvar Tiplerine Göre Pencere/ Duvar Alanı Oranlarının Bina Isı Kayıplarına Etkisi

*Effect of Window/Wall Area Rates on Building Heat Losses According to Variable Glass and Outer Wall Types of a Building*

Tansel KOYUN, Ersin KOÇ

### Türkiye’de Sanayi Sektörü ve Temel Sanayi Göstergeleri – Ekonomik Güven Endeksi

*Industrial Sector in Turkey and Basic Industrial Indicators – Economic Confidence Index*

Erdem KOÇ, Kadir KAYA, Mahmut Can ŞENEL

### Toprak Isı Değiştiricisi Uzunluğunun Kondenser Sıcaklığı ile Değişimi Üzerine Deneysel Çalışma

*Experimental Study on the Change of Ground Heat Exchanger Length with Condenser Temperature*

Havva CEYLAN

### Gemi İnşa Sanayinde İş Sağlığı ve Güvenliği Bilincinin İncelenmesi

*Investigation of Consciouness Occupational Health and Safety in Ship Construction Industry*

Gözde MENTEŞE, Ebru İNCE, Burcu ÖZCAN

### Hurdaya Ayrılmış Bir Aracın Elektrikli Araca Dönüştürülmesi

*Converting Clunker Vehicle to an Electric Vehicle*

Hikmet RENDE, Efecan KARAMAN, Esin ALTINDAL



## EKİM-ARALIK 2017 689. SAYI

### Türkiye’de Ekonomik Göstergeler - İmalat Sanayi Kapasite Kullanım Oranı

*Economic Indicators in Turkey – Capacity Utilization Rate of the Manufacturing Industry*

Erdem KOÇ, Mahmut Can ŞENEL, Kadir KAYA

### Basınçlı Hava Sistemlerinde Enerji Verimliliği ve Emisyon Azaltım Fırsatlarının İncelenmesi

*Investigation of Energy Efficiency and Emission Reduction Opportunities in Compressed Air Systems*

Süleyman SAPMAZ, Durmuş KAYA

### Uçuş Prosedürleri İçin Yol Tanımlayıcıları

*Path Descriptors for Flight Procedures*  
Özlem ŞAHİN, Öznur USANMAZ

### Aracın Yalpa Karakteristiğinin Taşıt Dinamiğine Olan Etkisinin Analitik ve Nümerik Yöntemlerle İncelenmesi

*Investigating the Effect of Vehicle Roll Characteristics to Vehicle Dynamics with Analytical and Numerical Methods*

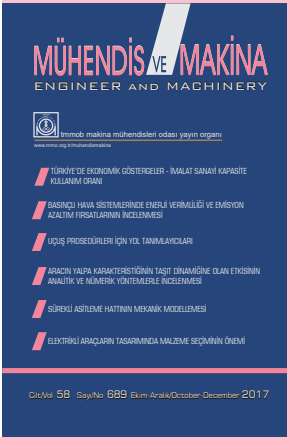
Enis GÖGEN, Emre SERT, Gürkan TUTU

### Sürekli Asitleme Hattının Mekanik Modellemesi

*Mechanical Modelling of a Continuous Pickling Line*  
Kaan ESENDAG, Serkan BILGIN, Iskender KAYABAŞI,  
Varlık KILIÇ, Can YILMAZ

### Elektrikli Araçların Tasarımında Malzeme Seçiminin Önemi

*Importance of Material Selection in Design of Electric Vehicles*  
Fatih GÜVEN, Hikmet RENDE





# 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, 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 bilgisayar 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.

## 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. Her yazı, konusuyla ilgili en az iki hakeme gönderilir. Hakem görüşlerinde belirtilen eksikler yazarlar tarafından tamamlandıktan sonra, dergide yayımlanabilecek nitelikte olanlar belirlenir ve yazara bilgisi verilir. Yazıların son hali yazarları tarafından düzenlenerek yayın sekreterine Online Makale Yönetim Sistemi (OMYS) üzerinden iletilir. 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 yayınlanmamış 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.

Makalelerin gönderimi ve hakem tarafından değerlendirilmesi süreçlerinde yaşanabilecek zaman kayıplarını ve maliyetleri azaltmak için makalelerinizi lütfen; [omys.mmo.org.tr/muhendismakina](http://omys.mmo.org.tr/muhendismakina) linkindeki sistem üzerinden gönderiniz.

# 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, presenting 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 Online Article Management System (OMYS). 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.

Please send your articles via the system at [omys.mmo.org.tr/muhendismakina](https://omys.mmo.org.tr/muhendismakina), in order to minimize the costs and time loss, which may result from the process of sending articles and evaluation by arbitrators.