

# MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

EDİTÖRLER

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK

*Mart 2024*

**Genel Yayın Yönetmeni / Editor in Chief** • C. Cansın Selin Temana

**Kapak & İç Tasarım / Cover & Interior Design** • Serüven Yayınevi

**Birinci Basım / First Edition** • © Mart 2024

**ISBN** • 978-625-6644-86-1

**© copyright**

Bu kitabın yayın hakkı Serüven Yayınevi'ne aittir.

Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin almadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

The right to publish this book belongs to Serüven Publishing. Citation can not be shown without the source, reproduced in any way without permission.

**Serüven Yayınevi / Serüven Publishing**

**Türkiye Adres / Turkey Address:** Kızılay Mah. Fevzi Çakmak 1. Sokak

Ümit Apt No: 22/A Çankaya/ANKARA

**Telefon / Phone:** 05437675765

**web:** www.serüvenyayınevi.com

**e-mail:** serüvenyayınevi@gmail.com

**Baskı & Cilt / Printing & Volume**

Sertifika / Certificate No: 47083

# MÜHENDİSLİK ALANINDA ULUSLARARASI ÇALIŞMALAR

Mart 2024

Editörler

PROF. DR. COŞKUN ÖZALP

PROF. DR. SELAHATTİN BARDAK





# İÇİNDEKİLER

## BÖLÜM 1

PLASTİK ENJEKSİYON AKIŞ ANALİZLERİNİN ÜRÜN KALİTESİNİN BELİRLENMESİNDEKİ ROLÜ

**Hasan ÖKTEM** ..... 1

## BÖLÜM 2

TEKSTİL FABRİKASINDA SİMÜLASYON UYGULAMASI  
KULLANARAK HAT DENGELEME ÇALIŞMASI

**İrem DÜZDAR, Rahmi Ebrar GÜCCAN, Furkan ÇAKIROĞLU**..... 15

## BÖLÜM 3

DOKUMA MAKİNELERİNDE AĞIZLIK AÇMA  
MEKANİZMALARINDAKİ SON TEKNOLOJİK GELİŞMELER

**İsmail BAYRAKTAR**..... 31

## BÖLÜM 4

TÜRKİYE’DE İMAR BARIŞI KANUNUNUN GETİRDİĞİ DEĞİŞİMLER:  
SWOT ANALİZİ PERSPEKTİFİ

**Fatih TAKTAK**..... 51

## BÖLÜM 5

DEPREM SONRASINDA HAZIRLANAN HASAR TESPİT RAPORLARININ  
KONUT FİYATLARINA ETKİSİ: OSMANİYE İLİ ÖRNEĞİ

**Nuri ERDEM** ..... 67

## BÖLÜM 6

GIDA ÜRÜNLERİNİN KURUTULMASINDA KULLANILAN GÜNEŞ  
ENERJİLİ KURUTUCULAR

**Zehra YILDIZ**..... 85

## BÖLÜM 7

DOĞAL TAŞ İHRACATI

**Didem EREN SARICI, Melike YAMACI ÜNSAL**..... 105

BÖLÜM 8

DERİNİN MODA VE ESTETİK İLE İLİŞKİSİ

*Hatice ER, Ertan EROL, Nuray O. IŞIK EMEKSİZ* ..... 119

BÖLÜM 9

OTOMOTİV ÜRETİM SÜRECİNDE ORTAYA ÇIKAN ÇEVRE  
SORUNLARININ BELİRLENMESİ

*Hazal ONAT, Güray SALİHOĞLU* ..... 139

BÖLÜM 10

CANLI BALIK TRANSFERİNDE KULLANILAN POMPALAR

*Muhammed İsmet GÖKTUĞ, Betül SARAÇ, Erhan AKSU* ..... 165

BÖLÜM 11

AKILLI KENTLEŞMEDE YAPAY ZEKANIN YERİ

*Zeynep ÜNAL, Aslı BOZDAĞ* ..... 177

BÖLÜM 12

BAZALTİK POMZADAN ELDE EDİLEN CAM SERAMİKLERİN  
KARAKTERİZASYONU

*Suna ÇETİN YETER* ..... 191

BÖLÜM 13

SERT METAL MALZEMELERİN TORNALAMA İŞLEMLERİNDE KESME  
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

*Hasan ÖKTEM* ..... 203

BÖLÜM 14

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ ARAÇ HAFİFLETME ÇALIŞMALARI  
VE ÇEVRESEL ETKİLERİ

*Nihan ŞUMNULU, Güray SALİHOĞLU* ..... 217

BÖLÜM 15

KARBON AYAK İZİ

*Didem EREN SARICI, Melike YAMACI ÜNSAL* ..... 231

BÖLÜM 16

ISI VE KÜTLE TRANSFERİNİN MATEMATİK MODELLENMESİ VE  
SİMÜLASYONU

**Burak TÜRKAN**..... 241

BÖLÜM 17

ATIK ISIDAN TERMOELEKTRİK JENERATÖRLERLE ELEKTRİK  
ÜRETİMİ VE İÇTEN YANMALI MOTORLARDA UYGULAMALARI

**Dinçer AKAL** ..... 271

BÖLÜM 18

GALVANİK KOROZYONA GENEL BAKIŞ\*

**Selim TAŞCI**..... 287

BÖLÜM 19

DÜZLEM İÇİ YÜK ETKİSİNDEKİ AÇILI FİBER KOMPOZİT PLAKTA  
GERİLME ANALİZİ

**Emre YILMAZ** ..... 307



# BÖLÜM 1

## **PLASTİK ENJEKSİYON AKIŞ ANALİZLERİNİN ÜRÜN KALİTESİNİN BELİRLENMESİNDEKİ ROLÜ**

*Hasan ÖKTEM<sup>1</sup>*



<sup>1</sup> Prof. Dr. Hasan ÖKTEM

Kocaeli Üniversitesi-Hereke Asım Kocabıyık MYO/Makine ve Metal Teknolojisi

ORCID: 0000-0003-2526-8364

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda, polimer üretim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, plastik kullanımının pazarındaki yeri giderek artmıştır. Günümüzde plastik ürünlerinin en kolay ve hızlı üretimi plastik enjeksiyon makinelerinde kalıplar kullanılarak yapılmaktadır. Plastik enjeksiyon kalıplama, termoplastik kalıplamanın önemli uygulamalarından biridir (Hao vd., 2011).

Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE) teknolojilerinin hızlı gelişimi, özellikle tüm kalıp tasarım sürecinin optimizasyonu için geçerli olan Moldflow yazılımının görünümü ve kullanımı ile kapsamlı bir çözüm sunar. Bu simülasyon yazılımı sadece araştırma ve geliştirme deneylerinin maliyetini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda üretim döngüsünü de büyük ölçüde kısaltır. Sonlu elemanlar analiz yazılımı olan Moldflow, plastik parça üretim sürecini tam ve doğru bir şekilde simüle edebilecek kapasitededir (He vd., 2021), (Moldflow Insight-MFI, 2015).

Plastik parçaların mekanik özellikleri, işleme ekipmanları, malzeme özellikleri, kalıp yapısı, plastik parça geometrisi ve enjeksiyonlu kalıplama proses parametreleri gibi birçok faktörle ilişkilidir (Yong vd., 2013).

Moldflow'un mühendislikte geniş uygulamasına dayanarak ve diğer bilimsel çalışmaların araştırma sonuçlarıyla karşılaştırıldığında, elde edilen sonuçlar kalıp boşluğu tasarımı ve hata kontrolü için güvenilir teorik temel sağlar (Moldflow Insight-MFI, 2015).

Plastik parçalar, otomotiv, beyaz eşya, elektronik, medikal, mutfak eşyaları gibi birçok sektörde tercih edilir. Plastik parçalar üretilmeden önce Moldflow, Moldex3D ve Solidworks plastics gibi bilgisayar destekli mühendislik yazılımlarının kullanılması enjeksiyon kalıplarının optimizasyonunu, yolluk giriş yeri tespitini, yolluk sistemini, prototip sayısının azaltılmasını, parçada meydana gelebilecek birçok kusurun boyutlarını ve konumlarını üretiminin ilk aşamalarında öngörülebilmesini mümkün kılmaktadır (Spina, 2004), (Yong vd., 2013).

Günümüzde plastik enjeksiyon kalıplama işleminde kullanılacak birçok termoplastik malzeme türü bulunmaktadır. Her bir malzemenin kendine has özellikleri olması sebebiyle, üretilecek ürünün performansını etkileyebileceğinden, ürünün imalatında uygun malzemenin seçilmesi oldukça önemlidir. Bu nedenle, üründen beklenen özelliklere göre en iyi ve doğru malzeme seçmek önemlidir. Bu çalışmada ana yaklaşım doğru malzeme seçimi ile parça kalitesinin sağlanmasıdır (Hakimian vd., 2012), (Öktem vd., 2023).

Plastik parçaların kalitesi ve performansı, enjeksiyon kalıplama simülasyonundaki sıcak veya soğuk yolluk türü ve kullanımı, ütüleme basıncı, kalıp sıcaklıkları, dolun süresi, ütüleme süresi, yolluk konumu, kalıp malzemesi, soğutma süresi, parçada kullanılan mesh boyutu ve mesh elementi sayısı gibi

birçok işlem parametresinden etkilenebilir (Mohammad vd.,2021), (Kamber, 2018).

Parçalarda çarpılmalar, değişen duvar kalınlıkları, değişen ütüleme basınçları, uygun olmayan soğutma çevrimleri veya uygun olmayan soğutma hızları gibi sebeplerden meydana gelmektedir. Bu etkilerin yanında malzemenin moleküler yapısı da yani amorf veya kristal yapıda olması da parçada meydana gelen çarpılda etkilidir (Graner, 2018). İki farklı polimer üzerinde çalışma yapılmış olup, eriyik sıcaklığı değiştirildiğinde son üründe meydana gelen hacimsel çekme ve çarpılma üzerine detaylı incelemeler yapılmıştır (Mohammad vd.,2021), (Kamber, 2018).

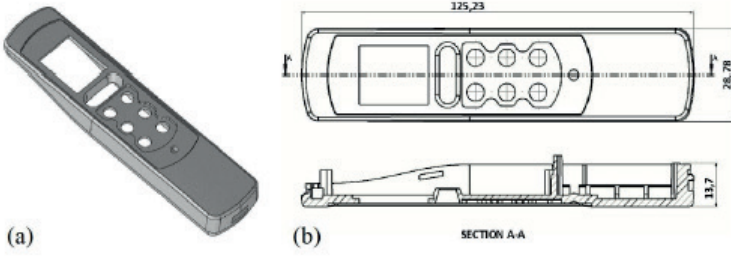
Bu güncel çalışmanın temel amacı, plastik enjeksiyon yönteminde, CAE yazılımları kullanılarak plastik ürünlerin kalitesinin belirlenmesi amacıyla yapılmış etkin araştırmaların detaylı incelenmesidir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

Plastik parçaların mekanik ve kozmetik özelliklerinin daha önceden belirlenmesinde kullanılan eriyik akış analizlerine başlarken, tasarım, mesh işlemi, polimer özellikleri, enjeksiyon parametrelerinin seçimi gibi aşamaların uygulanması gerekmektedir.

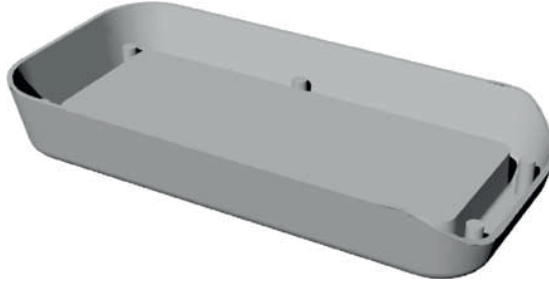
### 2.1. Tasarım

Analize başlamadan önce plastik parçanın tasarımı CAD programlarından üç boyutlu olarak tasarlanmalıdır. Catia, Solidworks, Siemens NX gibi CAD programlarda yapılan tasarımların Moldflow eriyik akış analiz programlarında çalıştırılabilmesi için “.STL”, “.IGS”, ve “.STEP” gibi ortak uzantılara dönüştürülmelidir. Parça tasarımı yapıldıktan sonra isteğe bağlı olarak yolluk, soğutma kanalı tasarımı da ayrı ayrı yapılarak programa atılabilir. Şekil 1, bir plastik telefon kapağı parçasının CAD modeli ve ölçülerini göstermektedir. Bu çalışmada, plastik ürün olarak günlük hayatta kullanılan uzaktan kumanda kapağı parçası incelenmiştir. Parça, duvar kalınlıklarının değişmez olmadığı, karmaşık bir parçadır. Plastik parçanın ölçüleri, 125.23 mm × 28.78 mm × 13.7 mm ve ortalama et kalınlığı 2.4 mm'dir. Bazı yerlerde parça duvar kalınlığı 5.6 mm'yi bulmaktadır (Kamber, 2018).



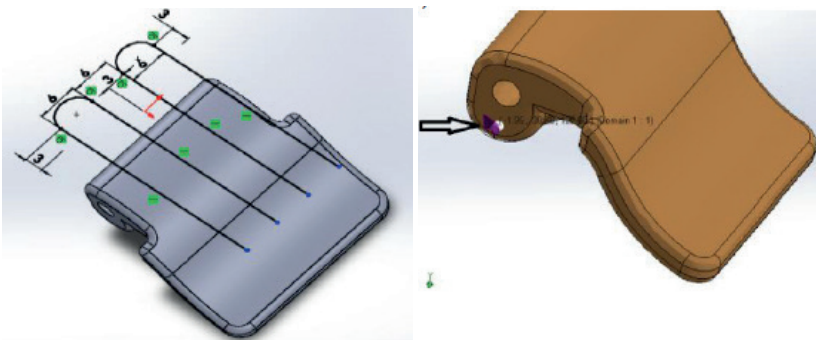
Şekil 1. Plastik parçanın CAD modeli ve ölçüleri (Kamber, 2018)

Şekil 2, ince cidarlı bir plastik kapak parçasının CAD modelini göstermektedir. Parçanın boyutları, 255 mm×125mm×41mm ve ortalama et kalınlığı 2.3 mm olarak CATIA programında tasarlanmıştır (Spina, 2014).



Şekil 2. Plastik kapak parçasının CAD modeli (Spina, 2014)

Şekil 3, bir plastik kapı kolu parçasının modelini göstermektedir. Bu parçanın, ölçüleri 40 mm x 100x 15 mm dir. Bu model, diğerlerine göre daha karmaşık ve daha fazla et kalınlığına sahiptir (Deepika vd., 2020).

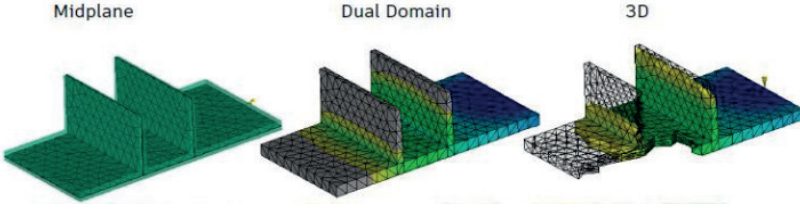


Şekil 3. Kapı kolu parçasının CAD modeli (Deepika vd., 2020)



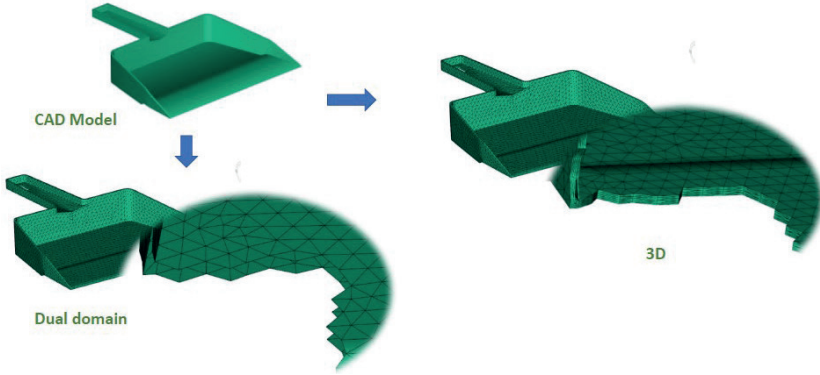
## 2.2. Mesh işlemi

Öncelikle, tasarlanan bir model Moldflow gibi analiz programlarına transfer edilir. Model, çift taraflı ızgara ile ağlanmıştır. Mesh aracı, meshleme problemlerini düzeltmek için kullanılır, bu da meshin tüm bilgilerinin gereksinimlerinin karşılanmasını sağlar. Plastik parçaların akış analizlerinde kullanılan mesh türleri Şekil 4'te gösterilmiştir.

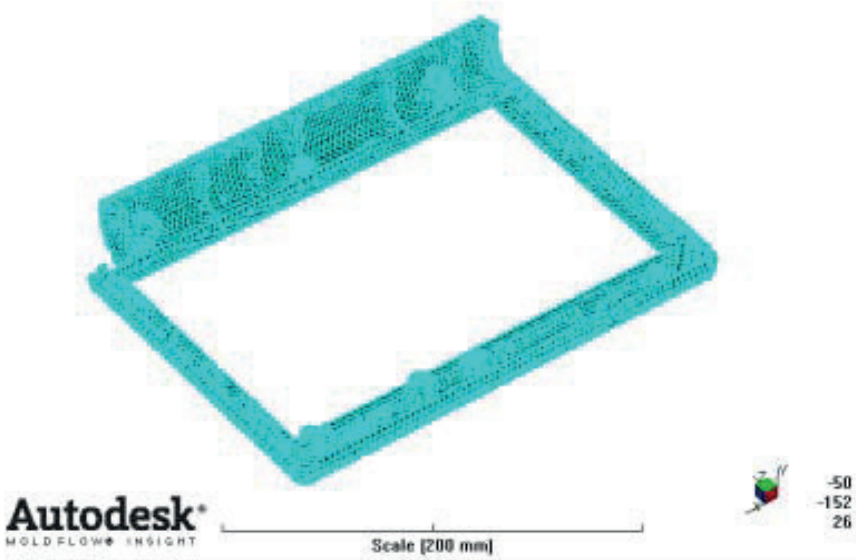


Şekil 4. Mesh tipleri (Ridheshkumar, 2018)

Moldflow gibi programlarda Midplane, Dual Domain, ve 3D katı olmak üzere 3 adet meshleme işlemi mevcuttur. Midplane, plastik kesitin orta düzleminde tanımlanır. Üçgen elemanlar öncelikle parçayı tanımlamak içindir. Kiriş sistemleri besleme sistemi, soğutma kanalları vb. tanımlamak için kullanılabilir (Ridheshkumar, 2018). Düşük et kalınlığına sahip, kabuksu yapıda olan, karmaşık olmayan parçalar Dual Domain'e daha çok uygundur (Spina, 2014). Dual Domain olarak yapılan analizlerde, CAD modelin yüzeylerinde üç noktalı (nodlu) üçgen tipi sonlu elemanlar oluşturulur. Şekil 5, bir kürek modeli üzerinde iki tip mesh yönteminin uygulanmasını gösterir. Bunların birbiri arasındaki mesafelere göre parça et kalınlığı temsil edilir. 3D analize uygun olan modeller, et kalınlığı ve değişimi fazla olanlar ve karmaşık geometriye sahip olanlardır. 3D olarak yapılan analizlerde, CAD modelin tüm hacminde tetrahedral sonlu elemanlar oluşturulur. Şekil 6, bir medikal cihaz ekran kapağının Moldflow'da meshlenmiş modelini göstermektedir (Hao vd., 2011).



Şekil 5. Mesh tiplerinin uygulanması (MFI, 2015)



Şekil 6. Medikal cihaz ekran kapağı (Hao vd.,2011).

### 2.2.1 Mesh işlem parametreleri

CAE yazılımlarında, eriyik akış analizleri sonrasında, mesh işlemi yapılırken bazı mesh parametreleri seçilir ve bu parametrelere bağlı olarak, analizler çalıştırılır. Mesh işlemi sonrasında, bozulmalar veya problemler oluşursa, mesh araçları sayesinde tekrar onarma ile gerçekleştirilebilir.

Bazı araştırmacılar, Moldflow analizleri öncesinde, mesh işlemleri yaparak, eleman sayısı, ağ eşleşme oranları ve diğer parametreleri elde etmişlerdir. Bir plastik kapak parçası modeli 5322 elemandan oluşmuştur ve ortalama üçgen en-boy oranı 2.17'ye eşittir. Modelin ağ eşleşme oranı %90'ın üzerinde-

dir. (Spina, 2014). Uzunluğu 5.5 mm olan bir plastik mikro dişli ve dişlinin kalınlığı 0.6 mm ve 18 diş sayısına sahiptir. 3D mesh tipi model analiz için hazırlanmıştır. Model, 56.618 elemandan oluşmuştur (Hakimian vd., 2012). Bu çalışmada kullanılan otomobil torpido gözü kapağı meshlenmiştir. Modelin genişliği, uzunluğu ve kalınlığı sırasıyla 230 mm, 350 mm ve 2.5 mm'dir. Modelin meshleme işlemi sonrasında oluşan eleman sayısı, 37.999'dur (Yin vd., 2011).

### 2.3. Polimer malzemelerin özellikleri

Birçok çalışmada, farklı tip genel amaçlı ve mühendislik polimerleri kullanılarak CAE analizleri gerçekleştirilmiştir. ABS (Akrilik Bütadien Stiren) ve PC (Poli Karbonat) olmak üzere iki farklı polimer malzeme kullanılmıştır. ABS HI-121, LG Kimya tarafından üretilen amorf bir polimer ve PC1803R, Sabic Innovative Plastics tarafından üretilen amorf bir polimerdir. Eriyik sıcaklığı aralığı ABS için 210-240 °C ve PC için 170-260 °C'dir. Tablo 1, iki polimere ait özellikleri ayrıntılı olarak göstermektedir (Kamber, 2018).

Tablo 1. ABS ve PC malzemelerin özellikleri (Kamber, 2017)

Malzeme	ABS	PC
Ticari adı	ABS HI-121	PC1803R
Yoğunluk	1.04 g/cm <sup>3</sup>	1.20 g/cm <sup>3</sup>
Eriyik akış indeksi (MFI)	7 g/l0 min (230 °C/3.8 kg)	18 g/l0 min (300 °C/1.2 kg)
Eriyik sıcaklığı	200-240 °C	280-300 °C
Çekme mukavemeti	45.1 MPa	63 MPa
Eğilme modülü	2450 MPa	2300 MPa

Termoplastik mikro dişli parçası, PC/ABS, PPE/PS ve POM (Polioksi metilen) gibi polimer malzemeler seçilerek, Moldflow'da analiz gerçekleştirilmiştir. PC/ABS ve PPE/PS (Polifenilen eter/Polistiren) polimerler amorf yapıya sahipken, POM, kristal yapıya sahiptir. Bu polimerlere ait genel özellikler, Tablo 2'de verilmiştir (Hakimian, vd.,2012).

Tablo 2. PC/ABS, PPE ve POM polimerlerinin özellikleri (Hakimian, vd.,2012)

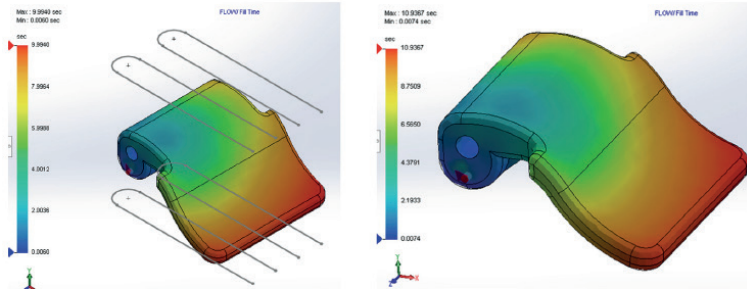
	PC/ABS	PPE/PS	POM
Eriyik yoğunluk	1.0133	0.97234	1.1594
Katı yoğunluk	1.1374	1.11790	1.4225
Kalıp sıcaklığı (°C)	75	75	75
Eriyik sıcaklığı (°C)	265	300	205
Possion oranı	0.4	0.4	0.5
Malzeme yapısı	Amorf	Amorf	Kristal

## 2.4. Moldflow eriyik akış analizleri

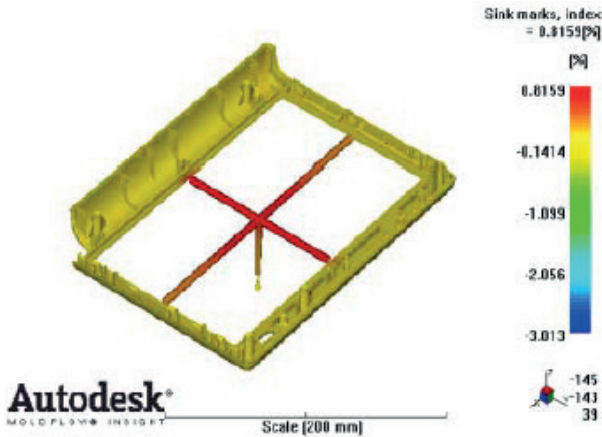
En iyi enjeksiyon koşullarını belirleyebilmek için Moldflow gibi analiz yazılımları kullanılarak bir dizi simülasyon gerçekleştirilir ve proses parametreleri ayarlanır. Moldflow analizleri, kalıp boşluğundaki sıcaklık ve basınç dağılımları ile birlikte kalıp boşluğu doldurma modelinin görselleştirilmesini sağlar. Analizler sırasında, kalıp boşluğundaki plastik eriyiğin akışı, doldurma süresi, basınçlar, sıcaklıklar, kayma hızı, birleşme izleri, çekme, çarpılma, batma izleri, hava kabarcığı ve çöküntü gibi birçok parametrenin belirlenmesi sağlanabilir. Özellikle, giriş parametreleri ve analiz sonrasında elde edilen çıkış değerlerinin daha önceden görülebilmesi oldukça önemlidir.

## 3. BULGULAR ve TARTIŞMALAR

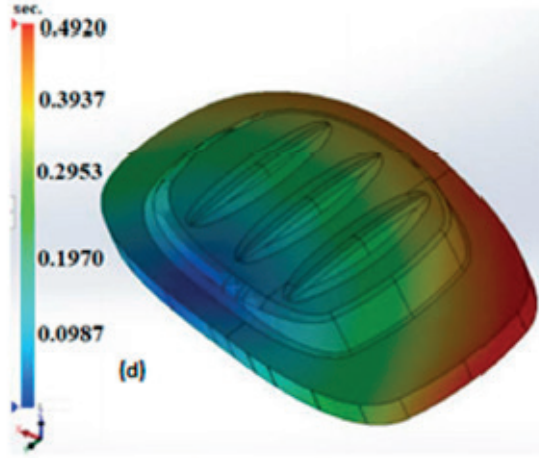
Bu bölümde, Moldflow yazılımı kullanılarak plastik enjeksiyon alanında yapılmış olan çalışmalar ve bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Araştırmacılar, Moldflow analizleri ile plastik parçaların dolma süresi, çöküntü, soğutma, hacimsel çekme ve çarpılma değerlerin belirlenmesi üzerine odaklanmışlardır (Şekil 7-12) (Deepika vd., 2020), (Hao vd.,2011), (Almeida vd., 2021), (Kamber, 2018), (Yin vd., 2011), (Hakimian vd., 2012).



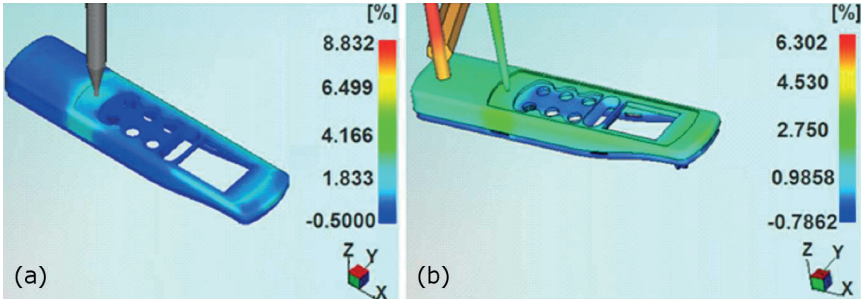
Şekil 7. Kapı kolu parçası dolum analizi (Deepika vd.,2020)



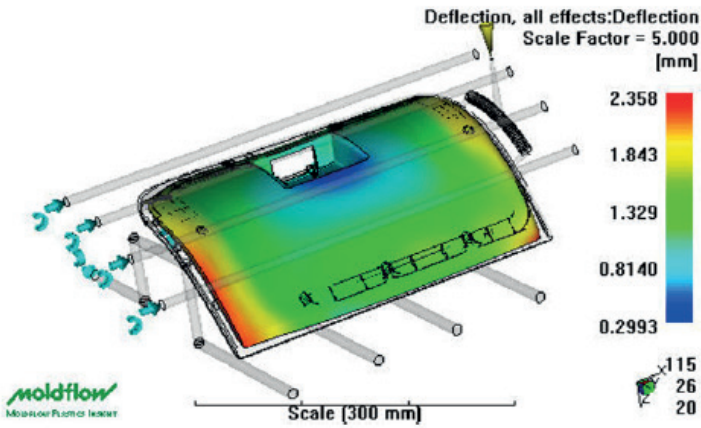
Şekil 8. Medikal cihaz ekran kapağının çöküntü analizi (Hao vd.,2011).



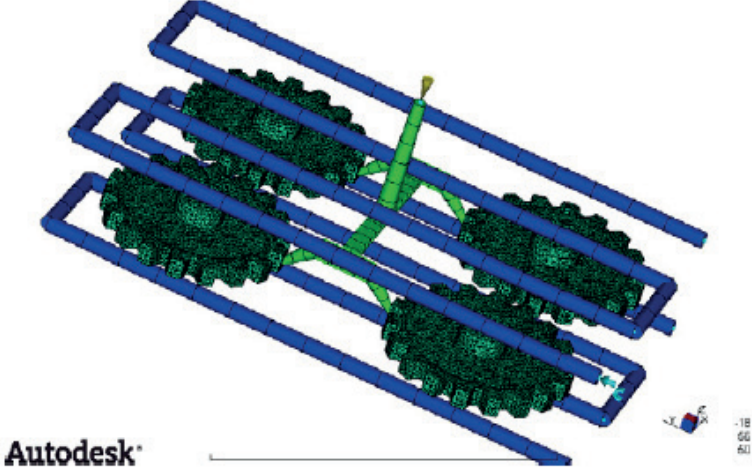
Şekil 9. Karmaşık geometrili otomotiv parçası (Almeida vd., 2021)



Şekil 10. Uzaktan kumanda kapağının çekme analizi (Kamber, 2018)

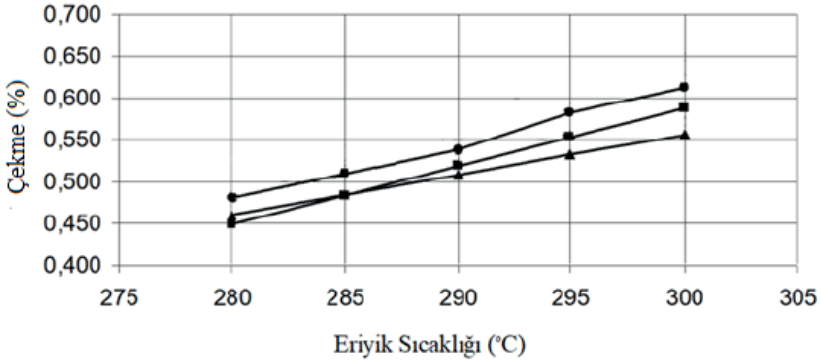


Şekil 11. Otomobil torpido gözü kapağının çarpılma analizi (Yin vd., 2011)



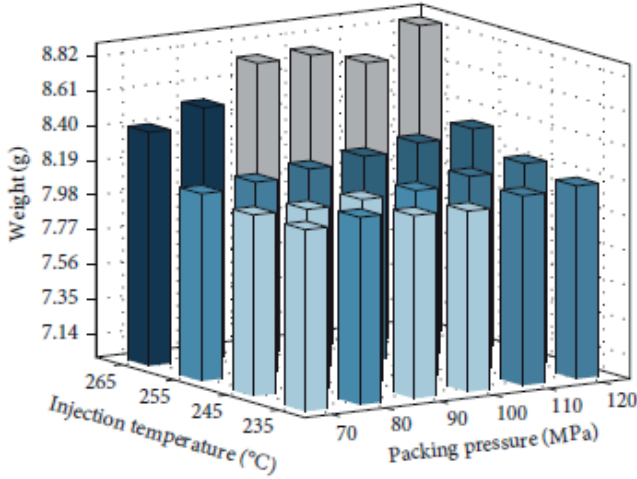
Şekil 12. Mikro dişlilerin soğutma analizi (Hakimian vd., 2012).

Şekil 13, ABS polimerin, sabit basınçta farklı eriyik sıcaklıklarına karşılık hacimsel çekmenin değişimini göstermektedir. Tüm ölçümlerde proses sıcaklığı arttığında hacimsel çekme oranının arttığı gözlemlenmiştir (Kamber, 2018). Bunun sebebinin, artan sıcaklıkla plastik eriyiğin genleşme miktarının artması olarak söylenebilir.



Şekil 13. Eriyik sıcaklığına bağlı olarak hacimsel çekmedeki değişim (Kamber, 2018)

Şekil 14, Polimetil metakrilat (PMMA) polimer malzemeye ait enjeksiyon zamanı ve ütüleme basıncına karşılık, plastik parçanın ağırlık değişimini göstermektedir (Zhao, vd., 2020). Şekil 14 incelendiğinde, plastik parçanın ağırlığı her iki parametrenin değerinin yükselmesi ile artmıştır.



Şekil 14. PMMA polimerin enjeksiyon basıncı (packing pressure) ve sıcaklığı (temperature) göre ağırlık (weight) değişimi (Zhao, vd., 2020).

Tablo 3, PPS (Polipropilen Sülfid) polimerinden plastik enjeksiyonda basılmış çubuk numunesi için çalıştırılan Moldflow analiz sonuçlarını gösterilmiştir. Tablo 3'deki değerler; X, Y ve Z yönlerindeki hacimsel çekme değerlerinden elde edilmiştir. Ayrıca, analiz sonuçları ile gerçek ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. Analiz değeri ile gerçek ölçüm değeri arasındaki en büyük hata Y yönünde % 2.184 iken, en küçük hata % 0.019 olarak hesaplanmıştır (Öktem vd., 2023).

Tablo 3. Moldflow analiz sonuçları (Öktem vd.,2023)

Polimer malzeme	Mold Flow Analiz Değerleri (mm)			Gerçek Ölçüm Değerleri (mm)			
	Deneyle	X yönü	Y yönü	Z yönü	X yönü	Y yönü	Z yönü
Polipropilen Sülfid (PPS)	1	109.451	19.829	3.974	109.820	20.20	4.02
	2	109.700	19.817	3.975	109.790	20.18	4.02
	3	109.597	19.685	3.973	109.600	20.08	4.03
	4	109.597	19.690	3.973	109.650	20.13	4.02
	5	109.442	19.907	3.973	109.800	20.18	4.02
	6	109.686	19.807	3.974	109.730	20.21	4.01
	7	109.677	19.802	3.973	109.780	20.17	4.02
	8	109.601	19.697	3.973	109.580	20.07	4.01



#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, literatürde plastik enjeksiyon yöntemi kullanarak gerçekleştirilen Moldflow analizlerine ilişkin önemli araştırmalar incelenmiş olup, elde edilen genel sonuçlar aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

- Bilgisayar destekli yazılımlar (CAE), plastik parçaların kalite ve mukavemet özellikleri hakkında önemli bilgiler verir.
- Plastik enjeksiyon yönteminde Moldflow analizleri, basınç, sıcaklık, dolum zamanı, soğuma zamanı ve kapama kuvveti gibi parametrelerin başlangıç değerlerinin tespitinde çok önemli kolaylık sağlamaktadır.
- Plastik parçalarda basım sonrası oluşabilecek hacimsel çekme, çarpılma, çöküntü ve birleşme izleri gibi kalite kusurlarının daha önceden belirlenmesi sağlanabilir.
- Bunlara ilave olarak, yolluk giriş yeri tespitini, yolluk sistemini, prototip sayısının azaltılmasını, parçada meydana gelebilecek birçok kusurun boyutlarını ve konumlarını parça üretiminin ilk aşamalarda öngörülebilmesini mümkün kılmaktadır.
- Moldflow analiz sonuçları, gerçek üretim süreçleri için güvenilir ve efektif bir biçimde kullanılabilir.
- Bir plastik parçanın Moldflow analizi, parçanın kozmetik görünüş ve mukavemet değerlerinin tahmin edilmesinde, % 95'e yakın doğrulukla sonuç vermektedir.
- Plastik parça üreticileri, Moldflow gibi mühendislik yazılımları sayesinde, zaman ve deneme maliyetlerinden kazanç sağlanabileceği sonucuna varılmıştır.



## KAYNAKÇA

- Almeida, F., Sousa, V.F. C., Silva, F.J.G., Campilho, D.S.G., Ferreira, L. P. (2021). Development of a novel design strategy for moving mechanisms used in multi-material plastic injection molds, *Applied Sciences*, 11, 11805. [doi.org/ 10.3390/app112411805](https://doi.org/10.3390/app112411805).
- Deepika, S.S., Patil, B.T., Shaikh, V. A. (2020). Plastic injection molded door handle cooling time reduction investigation using conformal cooling channels, *Materials Today: Proceedings*, 27, 519-523.
- Greener J., Wimberger, R. (2006). *Precision injection molding: Process, Materials, and Applications*, Cincinnati, Hanser Gardner Publications, Munich.
- Hakimian, E., Sulong, A.B. (2012). Analysis of warpage and shrinkage properties of injection-molded micro gears polymer composites using numerical simulations assisted by the Taguchi method, *Materials and Design*, 42, 62-712012.
- Hao, Z., Chuanyang, W., Jian, S. (2011). Analysis of Injection Molding of Thin-Walled Parts Based on Moldflow, *Second International Conference on Digital Manufacturing and Automation, ICDMA China, August 5-7*, doi:10.1109/ICDMA.2011.54.
- He, X., Wu, W.A. (2021). A Practical Numerical Approach to Characterizing Non-Linear Shrinkage and Optimizing Dimensional Deviation of Injection-Molded Small Module Plastic Gears, *Polymers*, 13, 2092. [doi.org/10.3390/polym13132092](https://doi.org/10.3390/polym13132092).
- Kamber, O.S. (2018). Forming Behavior of ABS and PC Polymers under Plastic Injection Molding Process, *Acta Physica Polonica A*, 173 (1), Special Issue of the 7th International Advances in Applied Physics and Materials Science (APMAS 2017).
- Mohammad, A.Z., Rafai, N. H. (2021). Simulation Study and Analysis of Different Polymer Material in injection mould process of plastic gear by using moldflow adviser software and taguchi method, *Research Progress in Mechanical and Manufacturing Engineering*, 3(1), 465-475.
- MFI, Mold Flow Insight (2005). *Mold Flow Plastik Insight Software*, Autodesk Cooperation Inc. USA.
- Nuruzzaman, D.M., Kusaseh, N., Basri, S., Oumer, A.N., Hamedon, Z. (2016). Modeling and flow analysis of pure nylon polymer for injection molding process. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 114, doi:10.1088/1757-899X/114/1/012043.
- Öktem, H., Karasungur, H. (2023). Yüksek Performanslı Polimerlerde Hacimsel Çekmenin Mold Flow Analizleri ile Belirlenmesi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 51, 203-208. [doi.org/10.31590/ejosat.1283359](https://doi.org/10.31590/ejosat.1283359).
- Ridheshkumar, C., Influence of different process variables on the Gas-assist injection molding process using Moldflow, Technical report, Aalen Univer-

sity of applied sciences, Hochschule Aalen, September 2018. doi: 10.13140/RG.2.2.22810.70088.

- Spina, R. (2004). Injection moulding of automotive components: comparison between hot runner systems for a case study, *Journal of Materials Processing Technology*, 155–156, 1497–1504.
- Yin, F., Maoa, H., Hua, L., Guo, W., Shu, M. (2011). Back Propagation neural network modeling for warpage prediction and optimization of plastic products during injection molding, *Materials and Design*, 32, 1844-1850. doi.org/10.1016/j.matdes.2010.12.022.
- Yong N., Hui, M. Z., Jia, T.N. (2013). Optimization of the Injection Molding Process Parameters Based on Moldflow and Orthogonal Experiment, *Advances in Polymer Technology*, 20, 1-9. doi.org/10.4028.
- Zhao, P., Dong, Z., Zhang, J., Zhang, Y., Cao, M., Zhu, Z., Zhou, H., Ful, J. (2020). Optimization of injection-molding process parameters for weight control: converting optimization problem to classification problem, *Advances in Polymer Technology*, 2020, 1-9. doi.org/10.1155/2020/7654249.

# BÖLÜM 2

## **TEKSTİL FABRİKASINDA SİMÜLASYON UYGULAMASI KULLANARAK HAT DENGELEME ÇALIŞMASI**

*İrem DÜZDAR<sup>1</sup>*

*Rahmi Ebrar GÜCCAN<sup>2</sup>*

*Furkan ÇAKIROĞLU<sup>3</sup>*



1 İrem Düzdar, Dr. Öğr.Üyesi, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 0000-0002-7832-1619

2 Rahmi Ebrar Güccan, Lisans öğrencisi, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 0009-0003-9235-6388

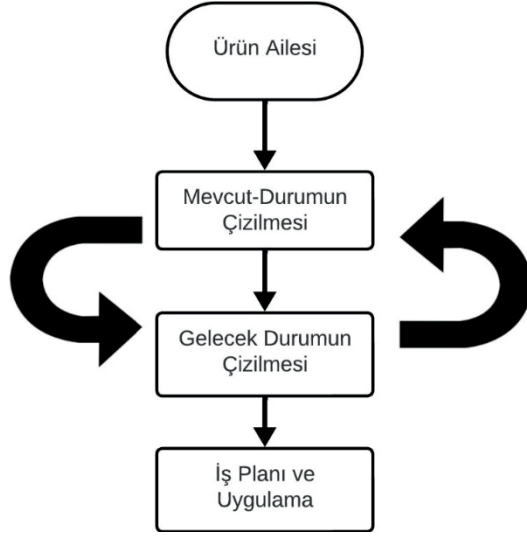
3 Furkan Çakiroğlu, Lisans öğrencisi, Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 0009-0008-3734-9122

## 1. GİRİŞ

Şu anki rekabet koşulları, fabrikaların sürekli olarak gelişimini kaçınılmaz kılmaktadır. Müşterilere sürekli olarak daha kaliteli ve uygun fiyatlı ürünler sunmak gün geçtikçe daha zor bir hale gelmektedir. Özellikle üretim sektöründeki fabrikalar, fiyatları arttığında rekabet şartlarına ayak uydurmakta zorlanarak maliyetleri en aza indirme yoluna giderek karlılıklarını korumaya çabalamaktadır. Bu bağlamda, en az girdi miktarıyla daha fazla üretim yaparak kapasitelerini artırmak zorunluluğuyla karşı karşıyadırlar. Endüstriyelleşme evresinde, fabrikaların etkinliklerini artırmak ve kârlılıklarını yükseltmek için kaynaklarını en etkili biçimde kullanmaları, müşterilerin ödeme yapmak istemediği israfları ortadan kaldırmaları gerekmektedir. Bu nedenle, şirketler, yalın üretim tekniklerinin önemini anlamış durumdadır. Yalın üretim teknikleri, katma değeri olmayan süreleri azaltmak, stokları düşürmek ve darboğazları belirleyip önlemek için kullanılır. Değer akış haritalama, yalın üretim tekniklerinin en yaygın olarak uygulanan yöntemidir. Bu yöntem, diğer yöntemlere kıyasla hızlı, düşük maliyetli ve sistemi görsel bir bütün olarak incelediği için oldukça kullanışlıdır. Bu araştırma, tekstil fabrikasının ütü paket hattındaki süreçlere odaklanarak, süreçlerin iyileştirilmesi için değer akış haritalama yöntemini içermektedir. İlk aşamada, fabrikanın mevcut durumunu belirlemek amacıyla kapıdan kapıya yürüyerek gerekli veriler toplanmış ve mevcut durum haritası oluşturulmuştur. Mevcut durum haritasında belirlenen israf noktaları iyileştirilerek, gelecek durum haritası tasarlanmıştır. Mevcut durum ve gelecek durum aşamaları, ARENA simülasyon programı kullanılarak modellenmiş ve karşılaştırılmıştır.

## 2. DEĞER AKIŞ HARİTALAMA YÖNTEMİ

Müşteriler, ilgilerini sadece kendi alacakları ürüne odakladıkları için, değer akış haritalaması yalnızca belirli bir ürün ailesi üzerinden oluşturulmalıdır. Değer akış haritalaması, bir ürün ailesi için fabrika içindeki kapıdan kapıya malzeme ve bilgi akışını gösteren proses adımları boyunca ilerlemek ve bunları kağıt üzerinde çizmek anlamına gelir. Değer akış haritalaması yapılırken, ilk aşamada ürünün tedarikçiden müşteriye kadar olan mevcut üretim süreci takip edilir ve malzeme ile bilgi akışı bilgisayar ortamında veya elle semboller kullanılarak çizilir. Bu şekilde mevcut durumun değer akış haritası oluşturulmuş olur. Ardından, sürecin nasıl olması gerektiğini gösteren “gelecek durum” haritası, anahtar sorular sorularak oluşturulur ve çizilir. Ürün ailesinin belirlenmesi, mevcut durum haritasının çizilmesi, gelecek durum haritasının tasarlanması ve faaliyet planının oluşturulması, değer akış haritalamanın temel adımlarını oluşturur. Şekil 1’de değer akış haritalama adımları açıklanmaktadır. [Mustafa ve Arkadaşları, 2021]



Şekil 1 Değer Akış Haritalandırma Adımları

Bir ürün ailesi için kapıdan kapıya üretim sistemi verileri toplandığında, bu verileri kullanarak sistemin mevcut durumunu haritalamak için standart semboller kullanılır.

Değer akış haritalaması bir ekip tarafından yapılmalıdır. Ekip, bir yönetici liderliğinde çalışmalı ve sürecin mevcut durumundan gelecek duruma kadar olan uygulamaları belirli zaman periyotları içinde planlamalı ve takip etmelidir. Farklı bölümlerdeki uzman personellerden oluşan bir ekip kurulmalıdır. Bu ekibin değer akış haritalaması yapmak için izleyebileceği adımlar şu şekilde sıralanabilir [8].

1) Tüm ekibin katıldığı bir toplantıda sürecin analiz edilmesi ve mevcut durumun taslak olarak çizilmesi.

2) Sahaya inilerek sürecin ilk ögesinden son ögesine kadar kapıdan kapıya yürünerek iş etüdü çalışmaları yapılmalı ve tam ve gerçek veriler elde edilmelidir. Veri kontrol listesindeki kilit veriler arasından ekibin en önemli gördüğü veriler belirlenmelidir.

Veri kontrol listesi şu unsurları içermektedir:

- Toplam vardiya süresi, üretim süresi, çalışılmayan süreler, çevrim süreleri ve hazırlık süreleri
- Sipariş miktarları ve terminleri, ekonomik sipariş miktarları, iç envanter seviyeleri, parti miktarları
- Güvenilirlik kriterleri
- Tedarik planları, bakım programları

- Operatör sayıları, vardiya sayıları
- Hat hızları
- Akışta meydana gelen aksamalar
- Tekrar işleme süreleri ve miktarları [9].

Değer Akış Haritalaması sırasında, sistemin detaylı bir inceleme ve analizi için iş etüdü çalışmalarının gerçekleştirilmesi zorunlu hale gelir. İş etüdü, zaman etüdü ve metot etüdü olarak iki ayrı bölüme ayrılır. Zaman etüdü, bir çalışanın belirli bir işi en verimli ve kaliteli şekilde gerçekleştirmek için gereken zamanı belirlemek için kullanılan bir iş ölçüm tekniğidir ve belirlenen zaman “standart zaman” olarak adlandırılır. Metot etüdü ise işin daha basit, etkili ve pratik yöntemlerle yapılmasını geliştirmeyi amaçlar, bu da yeni yöntemlerin denenmesini, kaydedilmesini ve incelenmesini içerir. Bu inceleme sonucunda en uygun yöntem seçilerek metot geliştirme işlemi gerçekleştirilmiş olur.

1) Ekip, gerekli verilerin toplandığından emin olmak için tekrar bir araya gelir.

2) Gerekli veriler toplandıktan sonra mevcut durum haritalama sürecine başlanır.

3) Mevcut durumu haritalarken çeşitli semboller kullanılır.

4) Değer akış haritalamasında kullanılan semboller genellikle süreç, malzeme ve bilgi sembolleri olarak sınıflandırılabilir ve bunlar Tablo 1’de gösterildiği gibi çeşitlilik gösterir.

Malzeme Sembolleri	Tanımı	Not
	Dış Kaynaklar	Müşterileri, tedarikçileri ve dışarıda gerçekleştirilen üretim proseslerini göstermek için kullanılır
	Üretim Prosesi	Malzemenin geçmekte olduğu istasyon, hat, proses bu sembol ile gösterilir
	Bilgi Kutusu	Üretim sürecinin altında çevrim süresi, hazırlık süresi, çalışma süresi, operatör sayısı bilgilerini içerir
	Envanter	Hammade, yarı mamul ve mamul stoklarını temsil eder
	Ürün Hareketi	Hammaddenin sürece gelişini veya süreçten ayrılışını gösterir
	Malzeme Hareketi	Bir süreçten diğer sürece malzeme hareketi sembolüdür
	FİFO Yolu	İlk giren malzeme, hammadde ilk önce işlem görür mantığı ile çalışır
	Sevkiyat	Tedarikçiden veya Müşteriye Sevkiyatı sembolize eder
	Bilgi Toplama	Gözle izleyerek bilgi toplama
	Bilgi Toplama	Sözel bilgi veya kişi bilgisi sembolleridir
	Kaizen	Gelcek durumda iyileştirilebilecek noktalar (5S, jidoka, kaizen, heijunka, SMED vb.) için konulan semboldür
	İşgören	Süreçlerdeki operatör sayısını göstermektedir
	Süreç Çizgisi	Katma değerli süre ve katma değerli olmayan süreleri göstermektedir
	Bilgi Sembolü	Elle hazırlanan bilgi semboldür, genel bilgi aktarımını gösterir. Yanında zaman belirten bilgiler vardır
	Bilgi Sembolü	Elektronik bilgi akışını temsil eder. Yanında zaman belirten bilgi bulunur

Tablo 1 Değer Akış Haritalandırma Sembolleri

Mevcut durum haritası oluşturulduktan sonra, israfı azaltmak ve malzeme akışını düzenlemek amacıyla haritanın incelenmesi ve analiz edilmesi gereklidir. Bu analiz sonucunda, gelecek durum haritalama aşamasına geçilmelidir. Tapping'e [10] göre yapılması gereken aşamalar şu şekilde sıralanmaktadır:

- Müşteri talebi adımı: Müşteri talebine uygun olarak tempo süresi hesaplanmalı, net çalışma zamanı belirlenmeli ve müşterilerin beklentileri olan fiyat, termin zamanı ve kalite özellikleri belirlenmelidir.

- Tek parça akışı: Sürekli ve sorunsuz bir tek parça akışının sağlanması, sistem içinde ve dışında (müşteri, tedarikçi vb.) düzeni sağlar. Bu, müşterilere, tedarikçilere ve süreç içindeki proseslere istenilen zamanda, istenilen miktarda ve istenilen kalitede ürün sağlar.

- Süpermarket: Bitmiş ürünlerin süpermarkete mi yoksa sevkiyata mı üretileceği belirlenmelidir.

- Ürün seviyelendirme: Müşterilere daha küçük miktarlarda ve daha hızlı bir şekilde ürün sevkiyatı yapabilmek için süreç içindeki stoklar azaltılmaktadır. Bu sayede ürün karması dengelenebilir.

- Pacemaker: süreçler belirlenir ve Kaizen iyileştirmeleri yapılır.

### 3. SİMÜLASYON YÖNTEMİ

Simülasyon, mevcut bir modeli anlamak, model üzerinde değişiklikler yaparak teoriler oluşturmak ve bu teorilerin gerçekte nasıl değişikliklere yol açacağını veya karşılaşılabilecek sorunları önceden görmek için kullanılan bir tekniktir. Simülasyon Tekniği, hem mevcut sistemlerin tepkilerini ölçmek hem de tasarım aşamasındaki sistemlerin nasıl işleyeceğini anlamak için kurulan modeller üzerinde uygulanan bir yöntemdir. Mevcut sistemlerde değişiklik yapmak ve bu değişiklikleri geri almak genellikle zor ve maliyetlidir. Bu nedenle, benzetim teknikleri, olası riskleri önceden fark etmeyi sağlayarak geri dönülemez hataların yapılmasını engelleyebilir. Günümüzde, çok değişkenli, karmaşık yapıdaki modelleri analitik yöntemlerle çözmek zorlaşmaktadır. Analitik yöntemler, simülasyon modellerine göre daha fazla varsayım içerir, mevcut sistemden uzaklaşır ve gerçeğe uygulanması daha zor hale gelir.

Simülasyon sürecinin başarı faktörü, gerçeği ne kadar doğru yansıttığıdır, bu da verilerin toplanması ve analiz edilmesi aşamalarının büyük önem taşıdığı anlamına gelir. Simülasyon sürecinin aşamaları şu şekildedir:

- a) Gerekli verilerin toplanması
- b) Verilerin analiz edilmesi
- c) Mevcut durumun simülasyonunun oluşturulması



d) Mevcut modelin simülasyonunun gerçeğe uygunluğunun araştırılması

e) Gelecek durum simülasyonunun oluşturulması

f) Mevcut durum ve gelecek durumun karşılaştırılması[11]

Simülasyon tekniğinin kullanılma amaçlarından başlıcaları

- Simülasyonlar, sistem yapılarını incelemek ve analiz etmek amacıyla kullanılmaktadır.

- Simülasyon tekniği, mevcut model üzerinde yapılan değişikliklerin gelecek durumdaki sistem performansını nasıl etkileyebileceğini anlamak için tercih edilen bir yöntemdir.

- Alternatif senaryolar oluşturularak en etkili modelin sisteme uygulanması amaçlanmaktadır.

- Sistemin performansını etkileyebilecek darboğazların belirlenmesi sağlanır.

- Belirli kriterlere dayalı olarak mevcut veya gelecek durumda oluşturulan sistemin nasıl ve ne kadar etkili bir şekilde çalıştığının çözümlenmesine olanak tanır [12].

Simülasyon tekniğinin sağladığı avantajlar yapılacak değişikliklerin, farklı senaryoların karşılaştırılmasını kolaylaştırması masraflarını düşürmesidir

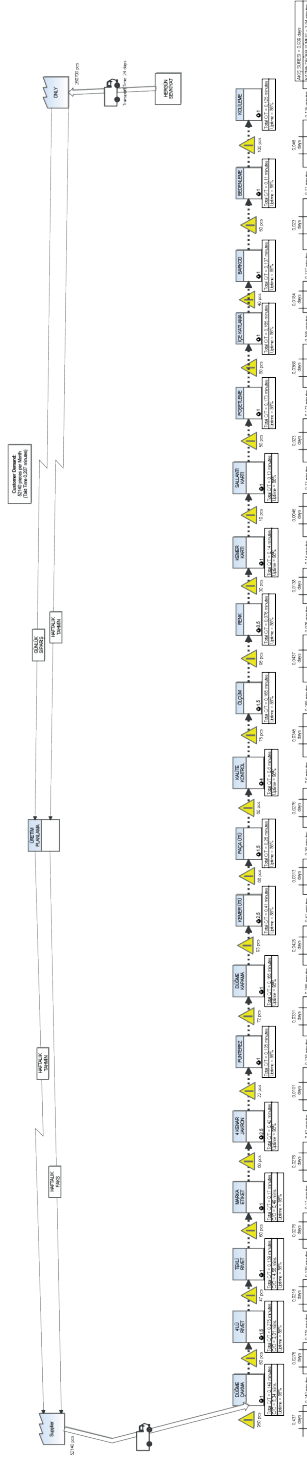
#### 4. UYGULAMA

Bu çalışma, Türkiye'deki en büyük pantolon üretim tesislerinden biri olan tekstil fabrikasında gerçekleştirildi. Fabrika, farklı pantolon modellerinin üretimini müşteri taleplerine göre planlayarak çeşitli ürün ailelerini kapsayan geniş bir üretim yelpazesine sahiptir. Çalışmada, fabrikanın en çok talep gören pantolon modellerine ait veriler kullanıldı. İş etüdü çalışmaları, ütü paket hattında gerçekleştirildi ve elde edilen veriler iGrafx programı kullanılarak fabrikanın mevcut durum haritası çıkarıldı. Mevcut durum haritası incelenerek, iyileştirme potansiyeline sahip noktalar belirlendi. İlk aşamada, iyileştirmelerin sistemi nasıl etkileyeceği gelecek durum değer akış haritası üzerinde analiz edildi. İkinci aşamada, Arena programı kullanılarak mevcut durum ile iyileştirilmiş gelecek durum karşılaştırıldı.

Ürün grubu seçimi: Değer akış haritalamasında kritik bir adım, tekstil fabrikasından alınan destekle en yoğun talep ve standart süre bakımından en yüksek olan bir ürün grubunu seçmek oldu. Bu grup üzerinde yapılan iyileştirmeler, diğer ürün gruplarına olumlu bir şekilde yansımaları planlanmaktadır.

Mevcut durum: Mevcut durum haritası oluşturulurken, tüm süreç kapıdan kapıya tamamlanmış ve detaylı etütler kaydedilmiştir. Müşteri talepleri 30/60/90 gün aralıklarla belirlenmekte, sevkiyatlar günlük çizelgelere göre planlanmakta ve üretim günlük programlamalara tabi tutulmaktadır. Fabrika, haftada altı gün, her vardiya için 8 saat olmak üzere iki vardiya halinde faaliyet göstermektedir. Her vardiya için 30 dakikalık mola süresi bulunmaktadır. Günlük talep 10.862,5 adet, ütü paket için ise beş farklı hat bulunmaktadır ve tek bir hat için günlük talep 2172,5 adettir. Takt time değeri 0,207 dakika olarak hesaplanmıştır. Süreç toplamda 19 iş ögesinden oluşmaktadır. Düğme çakma, 4'lü rivet, Tekli rivet, marka etiket, 4 kenar jaglon, punterez, düğme kapma, kemer ütü, paça ütü, kalite kontrol, ölçüm, renk, kemer kartı, sallantı kartı, poşetleme, içe katlama, barkod, bedenleme, kolileme

İnceleme sonuçlarına göre, toplam çevrim süresi 3,94 dakika ve takt time 0,207 dakika olarak belirlenmiştir. Hat dengesizliği ve fazla stok miktarları, etüt çalışmalarında hızlı bir şekilde değer akış haritası kullanılarak iyileştirilebilecek noktaların tespit edilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 2 Mevcut Durum Haritası

Gelecek durum: Gelecek durumda, mevcut durum değer akış haritası analizi sonucunda belirlenen israflar minimize edilmiştir. Bekleme süreleri, gereksiz işçilik süreleri ve fazla hareket süreleri en aza indirilmiş, dengesizlik nedeniyle oluşan süreç arası stoklar minimize edilmiştir. Tempo süresi, talep hızının kullanılabilir çalışma süresine bölünmesiyle 0,207 dakika olarak belirlenmiştir. İlk aşamada israfların ortadan kaldırılması ve kaizen çalışmalarıyla süreç iyileştirilmiş, ikinci aşamada Arena programında yapılan simülasyonlarla elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Mevcut durum haritası ve süreçler gözden geçirildiğinde, katma değeri olmayan sürelerin azaltılabileceği gözlemlenmiştir. Bu durumlar ve gerçekleştirilen iyileştirmeler şunlardır:

#### Kemer Ütü ve Paça Ütü İyileştirmeleri:

- Kemer ütü işlemi, pantolonun kemer kısmının düzgün ütülenmesini içerirken, paça ütü işlemi her iki paçanın ütülenmesini kapsar. Ancak, bu işlemlerin takt zamanından daha uzun sürdüğü ve üretim hızını karşılamada zorlandığı belirlenmiştir.

- Çözüm olarak, kemer ütü ve paça ütü işlemleri birleştirilmiş, böylece ürün alıp verme süreleri ortadan kalkmıştır. Toplam 4 personele gerekli yetkinlik ve bilgi kazandırılarak her iki işlemi gerçekleştirebilme becerisi sağlanmıştır.

- Kemer ütü ve paça ütü işlemleri için harcanan süre ortalama 0,67 dakika iken, bu iyileştirme sonucunda süre ortalama 0,43 dakikaya düşerek %36 oranında bir verimlilik artışı elde edilmiştir.

#### Kalite Kontrol İyileştirmeleri:

- Kalite kontrol işlemi, belirli işlemlerden geçen pantolonun kalitesini belirleme sürecini içerir. Ancak, belirli standartların olmaması ve gereksiz kontrollerin uzun süreye neden olması sorunları tespit edilmiştir.

- Sorunları çözmek için kalite kontrol aşamasına belirli standartlar getirilmiş, kontrol edilmesi gereken bölgeler belirlenmiş ve sıralanmıştır. Uygun standartlar ve kontrol sırası, personele aktarılarak, ortalama çevrim süresi 0,60 dakikadan 0,39 dakikaya düşürülmüş ve %35 oranında bir verimlilik artışı sağlanmıştır.

#### Kalite Kontrol İşleminde Yapılan İyileştirmeler:

Kalite kontrol işlemi, belirli işlemlerden geçen pantolonun uygun kalitede olup olmadığını tespit etme sürecini içerir. Ancak, bu işlem için belirli standartların olmaması ve pantolonun gerekli kısımları dışında da kontrol edilmesi, işlemin takt zamanının çok üstünde sürdüğü, uzun süre tamamlandığı ve istenen üretim hızını karşılamakta zorlandığı sonucunu doğurmuştur. Ayrıca, bazı durumlarda kontrol edilmesi gereken bölgelere yeterince dikkat edilmediği gözlemlenmiştir.

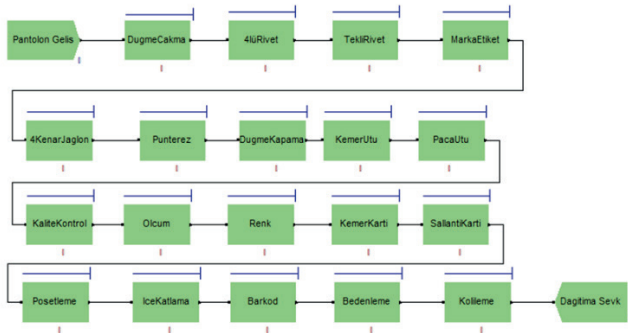


**Simülasyon:** Mevcut durumun, gelecek durum ile karşılaştırılmasını sağlamak için ARENA programı kullanılarak verilerin simülasyonu sağlanmıştır. Fabrikada 10 gün boyunca bütün işlemler incelenmiş ve her işlemin süreleri tutulmuştur. Tutulan verilerin dağılımlarını görmek için ARENA programı tarafından sağlanan Input Analyzer adlı uygulama kullanılmıştır. Tablo 2 de yapılan dağılım verilerinin sonuçları gösterilmiştir

İşlemler	Ortalama Çevrim Süreleri	Standart Süre Dağılımları
Düğme Çakım Manuel	8,15	6 + WEIB(2.16, 1.01)
4 Lü Rivet Manuel	14,98	12.4 + 5.56 * BETA(1.25, 1.41)
1 Li Rivet Manuel	7,56	TRIA(5, 8.39, 9.84)
Marka Etiketi	9,29	8 + LOGN(1.24, 1.35)
Jagron 4k	22,92	20 + 6 * BETA(1.44, 1.53)
Punerez	7,38	5.01 + WEIB(2.67, 2.11)
Düğme Kapama	8,98	7 + 3.94 * BETA(0.662, 0.653)
Kemer Ütü	22,35	18.2 + 7.79 * BETA(1.24, 1.09)
Paça Ütü	14,16	10.1 + 7.93 * BETA(1.01, 0.948)
Kalite Kontrol	32,75	UNIF(21, 44)
Ölçüm	9,01	6 + 5 * BETA(0.662, 0.512)
Renk Bakma	4,16	3 + 2.41 * BETA(0.735, 0.796)
Kemer Kartı	7,62	NORM(7.62, 1.29)
Sallantı Kartı	7,12	UNIF(5.22, 9)
Barkod (Kart+Beden)	7,46	6.13 + 2.87 * BETA(1.34, 1.5)
İçe Katlama	9,00	7.26 + 3.63 * BETA(0.732, 0.794)
POŞETLEME	9,43	UNIF(7, 12)
BEDENLEME	6,02	4 + 3.73 * BETA(1.16, 1.09)
KOLİLEME	6,83	5.28 + LOGN(1.6, 1.29)

Tablo 2 Verilerin Dağılımları

İşlemlerin sürelerinin dağılımları belirlendikten sonra ARENA programında mevcut durum simülasyonu kurulmuştur. Şekil 7 de model sunulmuştur



Şekil 4 Mevcut Durum Modeli

Kurduğumuz arena modelinin geçerliliğinin onaylanması için fabrikada on gün boyunca çıktı miktarları gözlemlenmiştir. Gerçekte gözlemlenen çıktı miktarları, yapılan simülasyon modelinin doğru bir model olup olmadığını test edilmek için kullanılmıştır. Simülasyon modelinin geçerliliğinin onaylanması için t-testi kullanılmaktadır. Ki-Kare testi ile verilerin normal dağılıp dağılmadıkları test edilmiştir. Bunun için MİNİTAB programında fabrikanın gerçek verilerini ve simülasyon sonuçlarımızı kullanarak ki-kare testi uyguladık. Şekil 8 de ki kare test sonuçları gösterilmektedir.

H0: Veriler normal dağılım göstermektedir.

H1: Veriler normal dağılım göstermemektedir

### Chi-Square Test

	Chi-Square	DF	P-Value
Pearson	0,045	9	1,000
Likelihood Ratio	0,045	9	1,000

Şekil 5 Ki Kare Test Sonuçları

Ki-kare test istatistiği  $\chi^2 = 0.045$  bulunmuştur. Serbestlik derecesi  $v = k - 1 - m$  dir.  $V = 10 - 1 - 2 = 7$  olur. Serbestlik derecesi ve  $\alpha = 0.05$  anlamlılık düzeyi için 2 tablo değeri  $\chi^2_{\alpha, v} = 14.067$ ' dir. Bulunan  $\chi^2$  değeri (0,045),  $\chi^2$  tablo değerinden (14.067) küçük olduğu için H0 hipotezi kabul edilir. Sonuç olarak veriler normal dağılım göstermektedir. Bu yüzden verilere T testi uygulanabilmektedir. T testi yapıldığında sonuç p değeri 0.05 den büyük olduğu için 0.05 anlam düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığını göstermiştir. Sonuç olarak t-testi modelin geçerli olduğunu göstermiştir.

## Descriptive Statistics

Sample	N	Mean	StDev	SE Mean	95% CI for $\mu$
Gerçek Veriler	10	2173,60	2,55	0,81	(2171,78; 2175,42)
simülsayon	10	2174,00	3,33	1,05	(2171,62; 2176,38)

$\mu$ : population mean of Gerçek Veriler; simülsayon

## Test

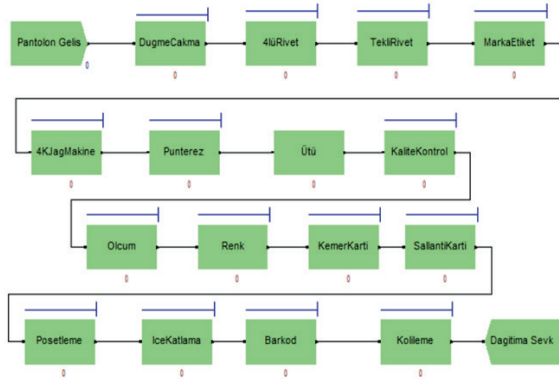
Null hypothesis  $H_0: \mu = 2175$

Alternative hypothesis  $H_1: \mu \neq 2175$

Sample	T-Value	P-Value
Gerçek Veriler	-1,74	0,116
simülsayon	-0,95	0,368

Şekil 6 T Testi Sonuçları

İncelediğimiz mevcut durum simülasyonu ve değer akış haritalaması sonuçlarına göre, gereksiz stokların varlığı ortaya çıkmıştır. Bu durum, çeşitli israfa neden olan etkenleri içermektedir. Elde ettiğimiz bulgulara dayanarak, sistemde Kaizen çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Değer yaratmayan faaliyetler kaldırılarak sistem yeniden test edilmiştir. Şekil 10'da, gelecek durumun ilk aşamasının simülasyonu görülmektedir.



Şekil 7 Gelecek Durum Simülasyon Modeli

Tablo 3'de mevcut durum ile gelecek durum karşılaştırılmıştır

ÖLÇÜTLER/DURUMLAR	MEVCUT DURUM	GELECEK DURUM
TOPLAM ÇEVİRİM SÜRESİ	3,94	3,49
SAĞLANAN İYİLEŞTİRME		11,5%

Tablo 3 Sonuçların Değerlendirilmesi



Gelecek Durum aşamasının simülasyon modelinde, mevcut kaynakları kullanarak aynı süre içinde daha fazla üretim elde edilmiştir. Nihai ürün sayısı, mevcut durumda on iterasyon çalıştırıldığında 2175 adet çıkmıştır. Gelecek durumun birinci aşamasında ise 2800 e çıkmıştır. İGrafx programından alınan değer akış haritalama sonuçlarına göre toplam katma değer süresi 3,94 dakikadan 3,065 dakikaya düşürülmüştür, bu da %11,5'lik bir iyileşmeyi temsil etmektedir.

## SONUÇ ve ÖNERİLER

Pantolon üretim fabrikasındaki bir montaj hattı üzerindeki israfların önlenmesi, fark edildiği ve süreçlerin iyileştirildiği bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda fazla stok, bekleme ve taşıma israflarının ortadan kaldırılması, ayrıca hattın dengelenerek kapasitenin daha etkin bir şekilde kullanılması hedeflenmiştir. İlk olarak iş etüdü çalışmaları yapılmış; kapıdan kapiya yürünerek tüm proseslerde 10 etüt tutulup standart zamanları kaydedilmiştir. Ardından elde edilen verilerin görselleştirilmesi için değer akış haritalama kullanılarak mevcut durumun haritası çizilmiştir. Bu süreçte mevcut durumdaki israflar belirlenmiş, iyileştirme önerileri sunulmuş ve gelecek durum haritası oluşturulmuştur.

Kemer ütü ve paça ütü işlemlerindeki katma değeri olmayan süreleri ortadan kaldırmak için iki işlem birleştirilmiştir, bu da %36 oranında bir iyileşme sağlamıştır. Kalite kontrol işlemlerindeki katma değeri olmayan süreleri azaltmak için belirli standartlar getirilmesi ve kontrol aşamasının belirli bir sıra halinde yapılması düşünülmüş, bu sayede %35 oranında bir iyileşme elde edilmiştir.

Yapılan iyileştirmeler sonucunda israf azaltılmış, hat dengelenmiş ve çıktı miktarı arttırılmıştır. Yalın iyileştirme kapsamında gerçekleştirilen kazıen çalışmaları oldukça olumlu sonuçlar vermiş ve bu sürekli döngü halinde devam etmelidir. Bu nedenle iyileştirmelerin sürekli olarak yapılması ve ortaya çıkan israfların hızla giderilmesi önemlidir. Yapılan iyileştirmelerin ardından montaj hatlarının dengesi tekrar gözden geçirilmeli ve gerekirse yeni değer akış haritalama süreçleri kullanılarak hattın optimizasyonu sağlanmalıdır.

## KAYNAKÇA

- [1] Özer. (2022). Yalın üretim araçları uygulanarak alüminyum kablo üretim sürecinin iyileştirilmesi
- [2] Hoşoğlu. (2022). Yalın üretim ve endüstri 4.0 uygulamaları ile üretim sürecinin değerlendirilmesi: Savunma sanayi firmasında uygulama
- [3] Karasu. (2019). Bir otomotiv firmasında yalın üretim odaklı montaj hattı iyileştirme çalışmaları
- [4] Aksu. (2013). Bir Üretim Hattındaki Performansın Yalın Üretim Teknikleri İle İyileştirilmesi
- [5] Yılmaz. (2012). SİPARİŞE GÖRE ÜRETİM YAPAN SİSTEMLERDE YALIN ÜRETİM
- [6] Bulut ve Altunay. (2016). Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi: Mobilya Sektöründe Bir Uygulama
- [7] Yurdugül. (2010). Değer Akışı Haritalandırma Yöntemi Ve Bir Uygulama
- [8] Efe, Ö. F. 2011. Yalın hizmet/değer akışı haritalama: bir acil serviste uygulanabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, SÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
- [9] Nash, M. A., & Poling, S. R. (2011). Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes. CRC Press.
- [10] Tapping, D. (2002). Value stream management: Eight steps to planning, mapping, and sustaining lean improvements. CRC Press.
- [11] Bilget, S. (2015). Konfeksiyonda simülasyon tekniğiyle yalın üretim sistemlerinin incelenmesi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- [12] Sazak, N. (2014). Sipariş tipi üretim yapan bir işletmede üretim hattı iyileştirme uygulaması

# BÖLÜM 3

## **DOKUMA MAKİNELERİNDE AĞIZLIK AÇMA MEKANİZMALARINDAKİ SON TEKNOLOJİK GELİŞMELER**

*İsmail Bayraktar<sup>1</sup>*



## I. GİRİŞ

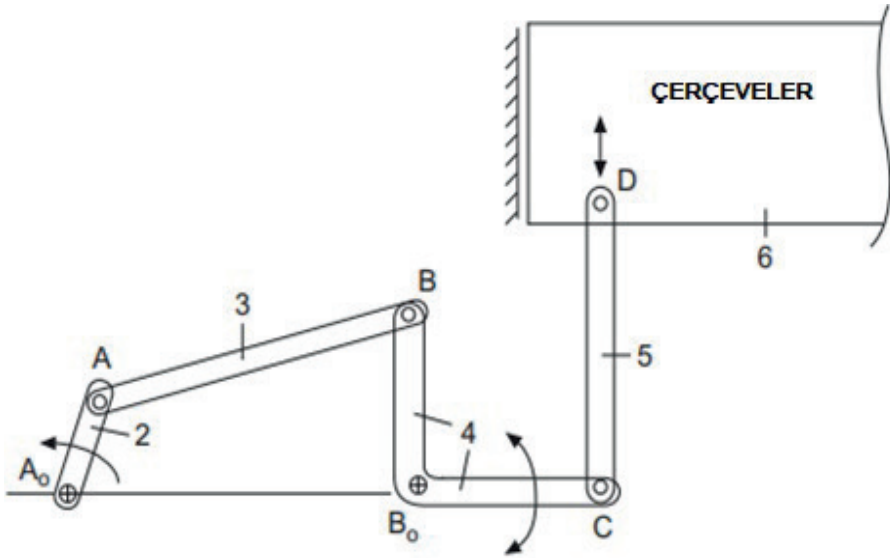
Ağızlık açma mekanizmaları dokuma makinelerinde 3 ana mekanizmadan biri olup atkı ve çözgü iplikleri arasındaki bağlantı düzenini sağlayan örgünün oluşturulması için gerekli olan dikey yönde çözgü hareketlerini meydana getirmektedir. Dokumada kullanılan en temel örgü bezayağı örgü olup çözgülerin 2 grup olarak birbirine zıt yönde hareket ettirilmesiyle oluşturulmaktadır. Dünyada üretilen toplam dokuma kumaş miktarı göz önüne alındığında yarısına yakını bezayağı örgü ile üretilse de daha büyük örgü raporuyla üretilen kumaşlara talep olmakta ve daha yüksek katma değerli ürünler olarak pazarda yer almaktadır. Bu yüzden üretilen dokuma makinelerinde sadece bezayağı, temel örgüler (bezayağı, dimi, saten), orta büyüklükte rapora sahip örgüler ve büyük raporlu örgülerden kumaş dokumaya olanak sağlayacak kranklı (ayakçıklı), kamlı, armürlü ve jakarlı ağızlık açma mekanizmaları kullanılmaktadır. Kranklıdan jakarlı ağızlık açma mekanizmalarına doğru gidildikçe maliyet artmakta birlikte dokuma makinelerinde üretilebilecek kumaşlara ait örgü rapor büyüklüğü ve dolayısıyla desenlendirme olanağı artmaktadır.

Geçmişten günümüze kadar olan teknolojik gelişmeler ile özellikle armürlü ve jakarlı ağızlık açma mekanizmalarında önemli teknolojik gelişmeler yaşanmış olup elektroniğin ve bilgisayarlı desen tasarımı ve kontrolün kullanılmasıyla elektronik armür ve elektronik jakar da yeni desenlerin tasarımı ve üretimi oldukça hızlı birer süreç haline gelmiştir. Kranklı ve kamlı ağızlık açma mekanizmaları tamamen mekanik sistemler olup zamanla bu alandaki gelişmeler daha yüksek hızda çalışan dokuma makinelerine bu mekanizmaların uyumu şeklinde gerçekleşmiştir. Ancak armür ve jakarlı ağızlık açma mekanizmaları mekanik sistemlerinde bir değişiklik olmadan programlanabilir ve kontrol edilebilir yapıda olduklarından belirli teknik kısıtlar içerisinde tasarlanan tüm örgülerin dokunmasına programlama yoluyla olanak sağlamaktadır. Dolayısıyla elektronik armür ve jakarların geliştirilmesiyle çalışma hızları desenlendirme kapasiteleri ve yeni desenler üretme süreçlerindeki kısılmalar da önemli aşamalar kaydedilmiştir. Aşağıda önce 4 farklı tipteki ağızlık açma mekanizmalarının çalışma prensipleri açıklanacak ve her biri için mevcut son teknolojik düzeylerine vurgu yapılacaktır.

## II. KRANKLI AĞIZLIK AÇMA MEKANİZMALARI

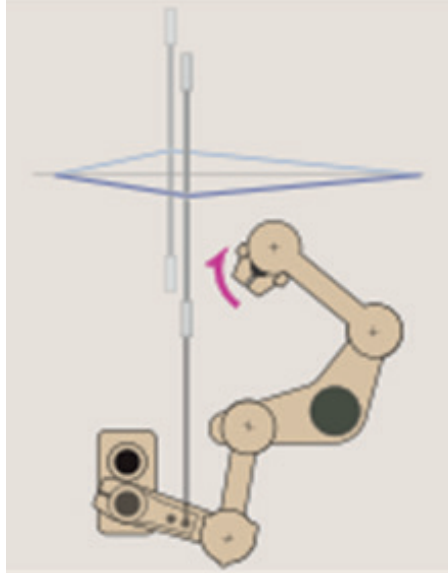
Kranklı ağızlık açma mekanizmaları birbirine zıt yönde hareket üreten (tezgah ana mili dönüş açısı cinsinden  $180^{\circ}$  faz farkıyla çalışan) 2 şer adet 3 çubuk veya 6 uzuvlu kol mekanizmalarından oluşmaktadır. Geçmişte bezayağı örgü kamları şeklinde tasarlanmış kranklı ağızlık açma mekanizmaları kullanılsa da günümüzde özellikle yüksek hızda çalışan hava ve su jetli tezgahlar ile 3 çubuk ve 6 uzuvlu kol mekanizmaları kullanılmaktadır. Şekil 1'de 3 çubuk mekanizmalı bir kranklı ağızlık açma mekanizmasını gösterilmek-

tedir. Burada  $A_0A BB_0$  3 çubuk mekanizması olup çerçeve hareket eğrisini belirlemektedir.  $B0CD$  ise krank biyel mekanizması olup 3 çubuk mekanizması tarafından üretilen hareketi çerçeveye iletmektedir. Dolayısıyla 3 çubuk mekanizmasının tasarımı ile çerçeve hareket eğrisi belirlenmektedir. Şekilde görülen mekanizmayla  $B_0$  'dan geçen ve  $B_0B$  koluyla dönen mile 3 adet çerçeve bağlanabilmektedir. Çoğu durumda 2 tane çerçeve yeterli olmaktadır. İkinci bir çubuk mekanizması ise şekildeki mekanizmanın yanında konumlanmakta ve  $A_0A$  kolu ve dolayısıyla diğer uzuvların pozisyonları  $180^\circ$  dönmüş olarak sabitlenmektedir. İkinci mekanizmaya da 3 adete kadar çerçeve bağlanabilmektedir. Bu durumda programlanabilme özelliği olmayıp birbirine göre zıt yönde hareket eden ve ağızlık oluşturan çerçeve tahriki gerçekleşmektedir. 3 çubuk mekanizmalı kranklı ağızlık açma mekanizmalarında çerçeve hareket eğrisi kapalı ağızlık pozisyonuna göre simetrik olacak şekilde (üst ve alt çözgü tabakalarında eşit gerginlik mevcuttur) tasarlanıp kullanılmaktadır. Bu şekilde bezayağı örgüye sahip birçok kumaşın dokunması mümkün olmaktadır. Ancak özellikle kesikli liflerden üretilen yüksek örtme faktörüne sahip kumaşların dokunmasında üst ve alt çözgü tabakalarında mekanizmanın tasarımıyla gerginlik farkı meydana getirmek tercih edilen bir yöntem olabilmektedir. Bu durumda şekil 2 de görülen 6 kollu kranklı ağızlık açma mekanizması kullanılmaktadır. 6 kollu ağızlık açma mekanizması kullanılması alt çözgü tabakasını oluşturan çözgülerin yaklaşık bekleme hareketi olarak değerlendirilecek bir çerçeve hareketi üretmesi mümkün olmaktadır.

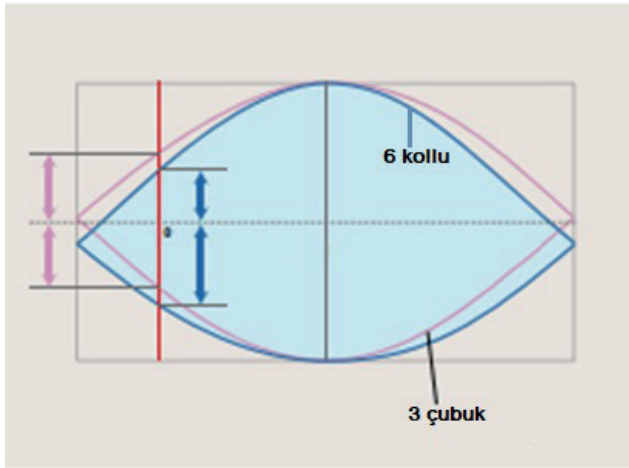


Şekil 1. Üç çubuk mekanizmalı bir kranklı ağızlık açma mekanizması

6 kollu kranklı ağızlık açma mekanizmasında da aralarında ana mil dönüş açısı cinsinden  $180^\circ$  faz farkı olan 2 adet 6 kollu mekanizma kullanılmaktadır ve her bir mekanizmayla 3 kadar çerçeve tahriki gerçekleştirilebilmektedir. 3 çubuk ve 6 kollu kranklı ağızlık açma mekanizmalarıyla elde edilen çerçeve hareket eğrileri Şekil 3'te görülmektedir. Gri renkte gösterilen simetrik hareket eğrisi 3 çubuk mekanizmalı kranklı ağızlık açma mekanizmasına aitken, mavi ile gösterilen alt kısmında bir miktar beklemeye sahip çerçeve hareket eğrisi 6 kollu kranklı ağızlık açma mekanizmasıyla üretilmektedir.



Şekil 2. Altı kollu bir kranklı ağızlık açma mekanizması



Şekil 3. Üç çubuk ve altı kollu kranklı ağızlık açma mekanizmalarıyla elde edilen çerçeve hareket eğrileri

### III. KAMLİ AĞIZLIK AÇMA MEKANİZMALARI

Kamlı ağızlık açma mekanizmaları çoğunlukla temel örgüler ve basit türev örgülerden kumaşların dokunmasında kullanılmaktadır. Günümüzde tezgahlara genellikle alt yan taraftan takılan ve kutu içerisinde yağ banyosunda çalışacak şekilde tasarlanıp üretilmektedir. Negatif ve pozitif prensiple çalışan 2 ayrı tipi olmasına rağmen çoğunlukla pozitif olanlar kullanılmaktadır. Günümüzde çoğunlukla hava jetli ve su jetli tezgahlarla yüksek hızda çalışacak şekilde tasarlanıp üretilmektedir. Pozitif kamlı ağızlık açma mekanizmalarında çerçevelerin hem kaldırılması hem de indirilmesi kam mekanizması tarafında yapılmakta olup günümüzde bu amaç için çift kam profili ve çift izleyiciden oluşan eşlenik kam mekanizmaları kullanılmaktadır. Negatif olan kamlı ağızlık açma mekanizmalarında çerçevelerin bir yöndeki hareketi kam mekanizması ile sağlanırken diğer yöndeki hareketi yaylarla gerçekleştirilmektedir. Bu yüzden negatif kamlı ağızlık açma mekanizmalarında tek profilli kamlar kullanılmaktadır. Her çerçeve ayrı bir kam tarafından tahrik edileceğinden kam kutusuna dokumada kullanılan çerçeve sayısı kadar kam yerleştirilmektedir. Şekil 4 çift kam profilli eşlenik pozitif bir ağızlık açma kamını göstermektedir. Şekildeki içi boş daireler kam ve sarkaç kolun takıldığı miller olup sarkaç kol sabit olan mil üzerinde bir rulman ile yataklanmış olup salınım hareketi yapmaktadır. Çerçeve sayısı kadar kam, kam miline sabitlenerek yan yana takılmakta ve birlikte aynı dönme hareketini yapmaktadır. Sarkaç kollar ise sabit olan mile rulmanlı yataklarla yataklanmış olup birbirinden bağımsız olarak kam profiline bağlı olarak salınım yapabilmektedir. Her örgü için gerekli sayıda kam, örgüdeki çözgü iplik hareketleri göz önüne alınarak belirlenen açılarla döndürülerek takılmaktadır. Örneğin dimi 2/1 örgüde örgü raporundaki atkı sayısı 3 olduğundan kamlar birbirine göre 120 şer derece döndürülerek kam miline takılırken, 2 atlamalı 5 li saten kamları birbirine göre  $144^{\circ}$  ( $2 \times 360/5$ ) derece döndürülerek kam miline takılıp sabitlenmektedir. Bu şekilde kam mili hareket ettirildiğinde çerçeveler örgü raporundaki her atkıda bulunması gereken üst veya alt ağızlık konumlarına harekte ettirilmiş olur. Çerçevelere hareket sarkaç kolun ucundaki kol aracıyla verilmekte ve şekil 5'te görülen hareket iletim mekanizmalarıyla iletilmektedir. Burada her bir kam mekanizmasına bir adet çerçeve hareket iletim mekanizması bağlanmaktadır.



Şekil 4. Çift kam profilli eşlenik pozitif bir ağızlık açma kamı



Şekil 5. Çerçevelere hareket iletim mekanizması

Kamlı ağızlık açma mekanizmaları çoğunlukla 8 çerçeveye kadar örgülerin dokunmasında kullanılırken üretilecek olan örgülerin örgü raporundaki atkı sayısı günümüzde üretilen mekanizmalar da 6 ya kısıtlanmıştır. Daha önceki yıllarda kamlı ağızlık açma mekanizmaları örgü raporunda 8 atkı olacak şekilde üretilmiştir. Ancak halı, kadife veya bazı teknik tekstil kumaşlarının dokunmasında daha yüksek atkı sayılarına çıkılabilmektedir. Negatif kamlı ağızlık açma mekanizmaları prensip olarak pozitif olanlarla aynı olup çift kam yerine tek kam profili ile çalışmaktadır. Bazı hava veya su jetli tezgahlarda özellikle çok yüksek hızlara çıkılmak istendiğinde kullanılmaktadır. Ancak endüstride pozitif kamlı ağızlık açma mekanizmaları hakim durumundadır. Bu alandaki teknolojik gelişmeler çok köklü değişiklikler içermemekte olup artan dokuma makinası hızlarına kamlı ağızlık açma mekanizmalarının uyarlanması şeklinde gerçekleştirilmektedir.

#### IV. ARMÜRLÜ AĞIZLIK AÇMA MEKANİZMALARI

Armürlü ağızlık açma mekanizmaları kranklı ve kamlı ağızlık açma mekanizmaları ile karşılaştırıldığında mekanizma da bir değişiklik olmadan



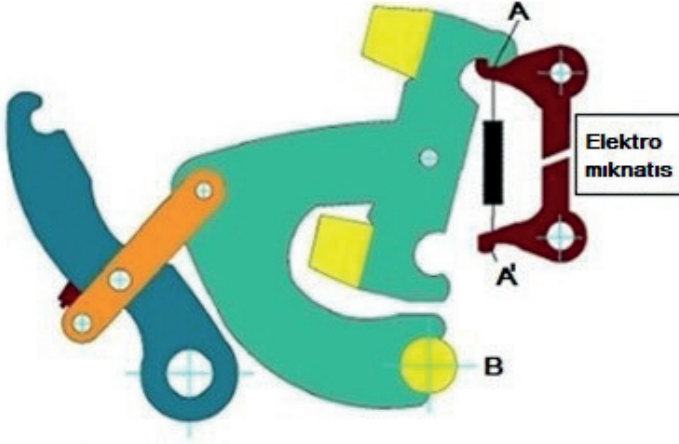
programlama yapılarak farklı desenler elde etme olanağı verdiği için çerçeve kullanılan ağızlık açma mekanizmaları arasında en avantajlı durumdadır. Eskiden beri programlama sistemi olarak bakla-çıtı sistemi ve delikli karton sistemi kullanılmış olup daha sonra elektronik programlama sistemine geçilmiştir. Endüstride yaygın olarak en fazla 20'ye kadar çerçeveye çalışılırken özel uygulamalar için 16, 12 gibi çerçeve sayıları ile üretilen modeller de mevcuttur. Diğer yandan özel amaçlar için 28'e kadar çerçeve ile çalışan armürler de geliştirilip kullanılmıştır.

Armürler de eskiden beri negatif ve pozitif prensipler çalışacak şekilde üretilmişlerdir. Uzun yıllar Hatersley prensibi ile uzun kancalar kullanan armür tipi hem negatif hem de pozitif armür olarak üretilip endüstride kullanılmıştır. Ancak tezgah hızlarının 400-450 dev/dak seviyelerine çıkması ile yeni armür tiplerine ihtiyaç duyulmuş olup, pozitif armür olarak rotary armür ve negatif armür olarak kısa kanca prensibi ile çalışan armür tipi geliştirilmiştir. Günümüzde kısa kanca prensibi ile çalışan negatif armürler genelde hava veya su jetli tezgahlarla 1100 dev/dak seviyelerinde hızlarla çalışabilmektedir. Rotary armürler ise tüm dokuma makinaları tipleriyle kullanılabilen ve 900-1000 dev/dak hızlara kadar hava jetli tezgahlarla birlikte çalışabilmektedir. Sektörde daha fazla pozitif armür tercih edildiğinden negatif armürlerin kullanımı çok yüksek hızlara sınırlanmıştır. Dolayısıyla dokuma sektöründe günümüzde hakim olan armür tipi rotary armürdür. Bunun yanında her çerçevenin ayrı bir servo motor ile tahrikine dayanan elektronik ağızlık açma mekanizmaları özel uygulamalar için daha yüksek çerçeve sayılarında üretilebilmekte ise de genel kullanım için en fazla 16 çerçeveyi tahrik edecek şekilde üretilebilmektedir. Elektronik ağızlık açma mekanizmaları, ağızlık açma mekanizması üreten firmaların yanında dokuma makinası üreten bazı firmalar tarafından da geliştirilip üretilmişlerdir. Aşağıda negatif ve pozitif armürlerle birlikte servo motor tahrikli ağızlık açma mekanizmaları incelenecektir.

#### 4.1.Negatif Armürler

Günümüzde yüksek hızlarda çalışacak şekilde üretilen negatif armürler kısa kancalarda oluşan prensibe sahiptir. Bu sayede hareketli kütle miktarı azalır yüksek hızlara çıkmak mümkün olmaktadır. Diğer yandan hava jetli ve su jetli tezgahlarda kullanılmak için üretildiklerinden nispeten daha küçük ağızlık boyutlarının daha düşük genlikli hareketlere ihtiyacı olacağından tezgah hız artışına olumlu katkı yapmaktadır. Şekil 6 kısa kanca prensibi ile çalışan negatif armürü şematik olarak göstermektedir. Şekilde sarı renkle gösterilen bloklar armür eni boyunca uzanmakta olup temas halinde oldukları yeşil renkli kola salınım hareketi yaptırmaktadır. Yeşil renkli dikey kolun üst ve alt uçları şekilde görüldüğü gibi kısa kancalar olup tahrik blokları ile hareket etmektedir. Şeklin sağ tarafındaki tutucu kancalar (kahverengi renkli) elektromıknatıslar tarafından tahrik edilip seçme işlemi gerçekleş-

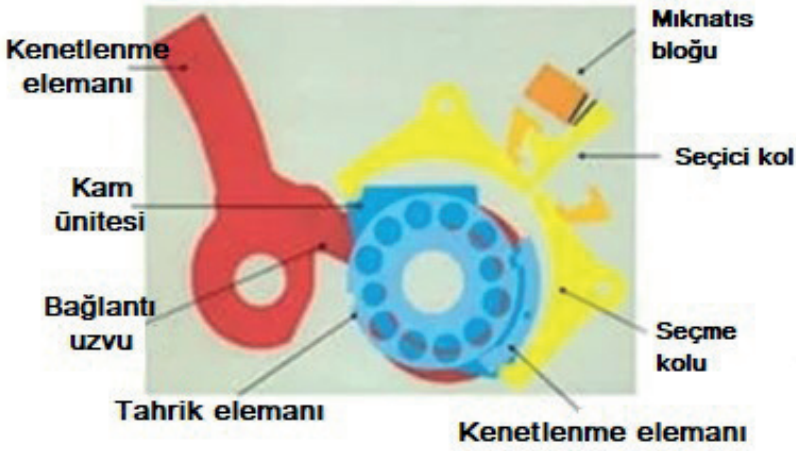
tirilmektedir. Buna göre örneğin üst kısa kanca ileri konumda olduğunda elektromıknatıs kontrollü tutucu kanca (A) tarafından tutulduğunda sarı tahrik bloğu geri dönerken kısa kanca ileri konumunda kalacaktır. Bu esnada alt taraftaki sarı renkli tahrik bloğu sağa doğru hareket ederken tahrik ettiği kısa kancayı ileri konuma taşıyacak ve kısa kancaların olduğu dikey kol düşey konuma gelirken B de mafsallı olan kolun kısa kancaların olduğu dikey kola mafsalsal noktası sağa doğru hareket edeceğinden B noktası etrafında saat ibreleri yönünde dönme hareketi yapar. Bunun sonucu olarak bu salınım hareketi kahverengi bağlantı kolu aracılığıyla mavi renkli çerçeve tahrik koluna salınım hareketi olarak iletilir. Mavi kolun üst ucunda eğilebilir çelik kablolarla hareket çerçeveye iletilerek çerçeve tahrik edilmiş olur. Netice olarak kısa kancaların her ikisi de sağ tarafta ileri konumlarında bulunursa çerçeve örneğin üst ağızlık konumuna getirilmiş olur. Kısa kancalar ileri konumlarında tutulduğu sürece çerçeveler örneğin üst ağızlık konumunda bekleme yapar. Kısa kancalar tutucu kancalar tarafından tutulmayıp tahrik bloklarıyla birlikte hareket ettiğinde çerçeve alt ağızlık konumda kalır. Buna göre kısa kancaların elektromıknatıs kontrollü tutucu kancalar tarafından tutulması veya tutulması durumuna göre çerçeveler üst veya alt ağızlık konumuna getirilebilmektedir. Bu istenen örgüye göre armürün programlanması ile mümkün olmaktadır. Armür tezgahta geri getirme yaylarına bağlı olarak çalıştığından kısa kancalar tutucu kancalar tarafından tutulmadığı sürece sarı renkli tahrik bloklarıyla birlikte hareket etmektedir. Çalışma prensibi incelendiğinde hareketli mekanizma kütlelerinin ve hareket genliklerinin düşük olmasından dolayı armür hızının yüksek olması mümkün olabilmektedir. Aynı zamanda hareketli parçalarda pozitif sistemdeki gibi çok küçük toleranslarla çalışmaya gerek bulunmamaktadır. Bu durum armür hız artışını destekleyen bir faktördür. Negatif armürlerde çerçeve hareketinin karakteristiği sarı renkli tahrik bloklarının hareket eğrisi ile belirlenmektedir. Sarı renkli tahrik blokları ise bir eşlenik kam mekanizması ile sağlanmaktadır. Bu negatif armürler en fazla 16 çerçeve ile tasarlanıp üretilmektedir.



Şekil 6. Kısa kanca prensibi ile çalışan negatif armür

#### 4.2.Pozitif (Rotary) Armürler

Rotary armürler tüm atkı atma sistemleri ile birlikte kullanılabilen pozitif armür tipi olup çoğunlukla en fazla 20 çerçeve ile çalışacak şekilde üretilmektedirler. Diğer armürler den farklı olarak bıçak ve kanca sistemine sahip olmayıp hareketi kontrol edilebilir bir eksantrik (3 çubuk mekanizması eşdeğeri) mekanizmasını esas almaktadır. Diğer ağızlık açma mekanizmalarından farklı olarak armür mili sabit hızla sürekli olarak hareket etmeyip kesikli hareket yapmaktadır. Her tezgah devrinde (armür mili yarı devrinde) armür mili hızı sıfıra düşmekte ve çoğunlukla bir miktar bekleme yapmaktadır. Bu esnada çerçeve konum değiştirecekse seçme mekanizması ile armür mili eksantrik ile birleştirilir ve armür milinin yarı devirlik hareketi ile çerçeve konum değiştirir. Çerçeve aynı konumda kalacak ise armür mili ve eksantrik arasında bir kenetlenme sağlanmayıp çerçeve bulunduğu konumda bekleme yapmaya devam eder. Dolayısıyla armürün çalışması sadece dönme hareketleri içermekte ve bu yüzden bu armür tipi rotary (döner) armür olarak isimlendirilir. Şekil 7 de Staubli firması tarafından üretilen bir rotary armür görülmektedir. Sarı renk ile seçme mekanizması ve birleştirme parçasının kontrol çubukları görülmektedir. Birleştirme parçası eksantrik üzerine döner mafsalla bağlı olup ucunda kenetlenmeyi sağlayacak çıkıntı bulunmaktadır. Bu çıkıntı armür miline bağlı dairesel parça üzerinde açılan kanala konularak kenetlenme sağlanır ve eksantrik armür miliyle birlikte hareket edip çerçevenin konum değiştirmesi sağlanır. Kenetlenme sürekli tutulursa çerçeve her tezgah devrinde konum değiştireceğinde bezayağı örgü ile dokuma gerçekleştirilmiş olur.



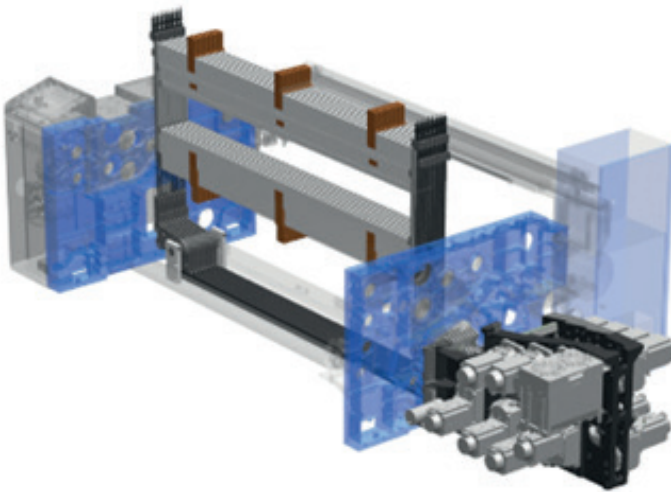
Şekil 7. Staubli pozitif (rotary) armür

Rotary armürler günümüzde teknik alandaki dokuma kumaşların üretimi dahil giysilik, ev tekstili, havlu, halı, kadife gibi tüm alanlarda çoğunlukla 12 mm hatveli, 20 kaldırma ünitesine kadar üretilmektedir. Örgü raporundaki atkı sayısı ise armür modeline göre 6400, 13000 ve 20000 atkıya kadar değişebilmektedir. Ayrıca bazı dokuma makinası tipleri için 24 ve 28 gibi yüksek sayılarda çerçeveleri tahrik edebilecek şekilde üretilmektedirler. Kullanılacağı dokuma makinesi tipine bağlı olarak (kancalı, mekikçiklikli, hava ve su jetli) tezgaha alt ve üst konumlardan takılabilmektedir.

#### 4.3.Servo motor tahrikli ağızlık açma mekanizmaları

Bağımsız tahrik teknolojisinin dokuma makineleri imalatında yaygınlaşmasının önemli uygulamalarından biri her çerçevenin ayrı bir servo motor tarafından tahrik edildiği ağızlık açma mekanizmaları olmuştur. Bu elektronik ağızlık açma mekanizmaları çoğunlukla maksimum 16 çerçeveyi tahrik edecek şekilde üretilmekte olup yüksek maliyetinden dolayı 6-8 çerçeveli olarak endüstride daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Halı sektöründe zemin çözgü çerçevelerinin kamlı ağızlık açma mekanizması yerine servo motorlarla tahriki makine çalışırken farklı zemin örgüleriyle halı dokumaya olanak sağladığından desenlendirme olanaklarını arttırmaktadır. Genel olarak incelendiğinde servo motor tahrikli ağızlık açma mekanizmaları farklı kumaş tiplerinin değişik çerçeve hareket eğrileriyle dokunmasına fırsat verdiği için dokuma teknolojisi tarafından avantaj oluşturmaktadır. Bunun yanında makine çalışırken ağızlık kapanma açısının kumaşın farklı konstrüksiyonlarına sahip kısımlarının dokunmasında farklı değerlere ayarlanabilmesi çerçevelerin hareket ve bekleme açılarının her kumaş tipi için farklı ayarlanabilmesi,

ağızlık dolaşma riski yüksek olan çözümlerle çalışmada kademeli ağızlık kapanma olanağının makine çalışırken ve mekanik bir ayara gerek duymadan yapılıyor olabilmesi bu ağızlık açma tipinin sağladığı önemli teknolojik avantajlardır. Böylece bir taraftan makine randımanı arttırılırken diğer taraftan dokunabilecek kumaş konstrüksiyonu aralığı genişletilmektedir. Servo motor tahrikli ağızlık açma mekanizmaları Staubli gibi ağızlık açma mekanizması üreten firmalar tarafından üretilebildiği gibi dokuma makinesi üretici firmaların kendileri tarafından da üretilebilmektedir. Bazı teknik tekstil kumaşların dokunmasında 20 ve üzeri çerçevenin servo motorlarla tahrik edildiği elektronik ağızlık açma mekanizmaları da üretilmektedir. Şekil 8 de Toyata firmasına ait 16 çerçeveli bir elektronik ağızlık açma mekanizması görülmektedir. Şeklin sağ tarafında ön ve arka tarafta toplam 16 adet servo motorun konumlanmasıyla tahrik edilen çerçeveler görülmektedir. Servo motorlardan çerçevelere hareket iletimi armür ve kamlı ağızlık açma mekanizmalarında olduğu gibi 3 çubuk ve krank biyel mekanizmalarında oluşan bir ağızlık açma mekanizması ile sağlanmaktadır. Bu ağızlık açma mekanizmasına ait tüm ayarlar (çerçeve yer değiştirme eğrisi, ağızlık kapanma açısı, çerçeve kalkış miktarı ayarları, ortada kademeli kapanan ağızlık) elektronik olarak bilgisayar ekranından girilerek yapılmaktadır.



Şekil 8. Toyota 16 çerçeveli ağızlık açma mekanizması

## V. JAKARLI AĞIZLIK AÇMA MEKANİZMALARI

Joseph Marie Jacquard'ın jakarı icat ettiği günden bugüne jakar teknolojisinde gerek kontrol yöntemleri gerekse kapasite olarak büyük değişiklikler gerçekleşmiş olup günümüzde her bir çözgünün ayrı bir minyatür motorla

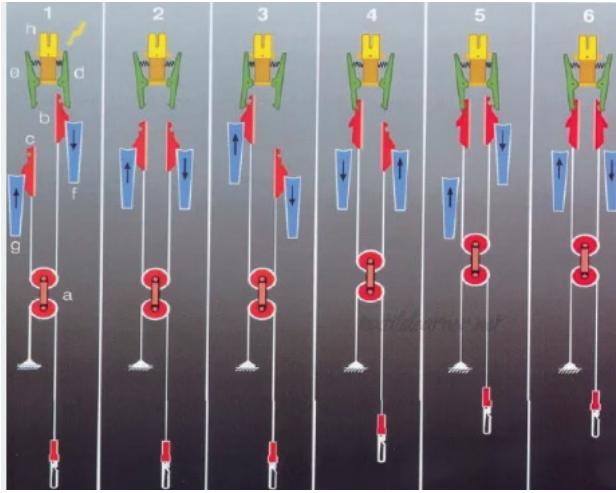
kontrol edildiği seviyeye ulaşılmıştır. Mekanik jakarlar günümüzde az gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde hala kullanılmakta olup gelişmiş ülkelerde büyük oranda kullanım dışı kalmıştır. O yüzden bu çalışmada mekanik jakarlara değinilmeyecek olup elektronik jakarlar açıklanacak ve son teknolojik gelişmelere vurgu yapılacaktır.

Elektronik jakarlarda tüm üretici firmalar makara sistemli kaldırma mekanizmasını kullanmaktadır. Bu sistem şekil 9 da Staubli firmasına ait makara sistemli elektronik jakar çalışma prensibi 6 adımda gösterilmektedir. Şekilde f ve g bıçakları, b ve c kancaları, d ve e tutucu kancaları, h elektro mıknatısı ve a makara sistemini göstermektedir. Plastik dikdörtgen bir parçaya üst ve alt uçlarından serbestçe dönecek şekilde birer makara bağlanmış olup makaraların etrafından dizim iplikleriyle aynı malzemeden iplikler geçirilmiştir. Üst makaranın etrafından dolanan ipliğin iki ucuna kancalar bağlanmıştır. Alt makaranın etrafından dolanan ipliğin bir ucu makina gövdesine bağlanırken diğer ucu bir bağlantı elemanı aracılığıyla dizim ipliklerine bağlanmak için serbest bırakılmıştır. İki adet bıçak birbirine zıt yönde hareket etmekte olup iki tezgah devrinde bir periyotluk hareketlerini tamamlamaktadır. Kancalar (b ve c) bıçaklarla birlikte hareket ettiği sürece makara sistemi jakar geri getirme yaylarının da etkisiyle alt konumda bulunur. Şekildeki 1 nolu resimde b kancası f bıçağı ile birlikte üst konumda bulunurken c kancası g bıçağıyla alt konumda bulunmaktadır. 2 nolu resime göre b kancası f bıçağıyla birlikte aşağıya inerken (d tutucu kancası b kancasını tutmadığından) c kancası g bıçağıyla yukarı hareket etmektedir. Dolayısıyla makara sistemi alt konumda bulunmaktadır. 3 nolu resimde g bıçağıyla birlikte üst konuma ulaşmış olup diğer kanca ve bıçak alt konumda bulunmaktadır. Dolayısıyla ilk üç resimde makara sistemi alt konumda bulunmakta ve çözgü ipliği de alt ağızlık konumunda pozisyonlanmaktadır. 4 nolu resimde elektromıknatısın (h) etkisiyle c kancası e tutucu kancası tarafından tutulmuş ve g bıçağı aşağıya inerken üst konumda bekleme yapmaktadır. b kancası ise f bıçağı tarafından yukarı yönde hareket ederken makara sistemini (a) yukarı doğru hareket ettirmekte ve sol tarafından gövdeye sabitlenmiş olan iplik alt makaranın yukarı hareketi ile sağ ucundan yukarı kaldırılmaktadır. Dizim ipliği alt makara etrafından dolanan ipliğin sağ ucuna bağlanacağından kontrol ettiği çözgü de üst ağızlık konumuna hareket etmiş olur. 5 nolu resimde b kancası f bıçağıyla birlikte üst konuma ulaşmış olup makara sistemi ve çözgüyü üst ağızlık konumuna getirmiştir. 6 nolu resimde ise her iki kancada tutucu kancalar tarafından üst konumda tutulduğundan makara sistemi ve dolayısıyla çözgü üst ağızlık konumunda kalamaya devam eder. Böylece kancaların ikisi de üst konumda bulunduğu makara sistemi ve çözgü üst ağızlık konumunda bulunur. Kancalar bıçaklarla birlikte hareket edip tutucu kancalar tarafından tutulmadığından makara sistemi ve çözgüler alt ağızlık konumunda bulunur. Kancalardan biri üst konumda tutucu kanca tarafından tutulup diğer kanca



bıçakla birlikte yukarı yönde hareket ederken çözümlü alt konumdan üst ağızlık konumuna hareket eder. Her ikisi üst konumda olan kancalardan biri bıçağıyla birlikte aşağıya harekete ederken makara sistemi ve kontrol ettiği çözümlü üst ağızlık konumundan alt ağızlık konumuna hareket eder.

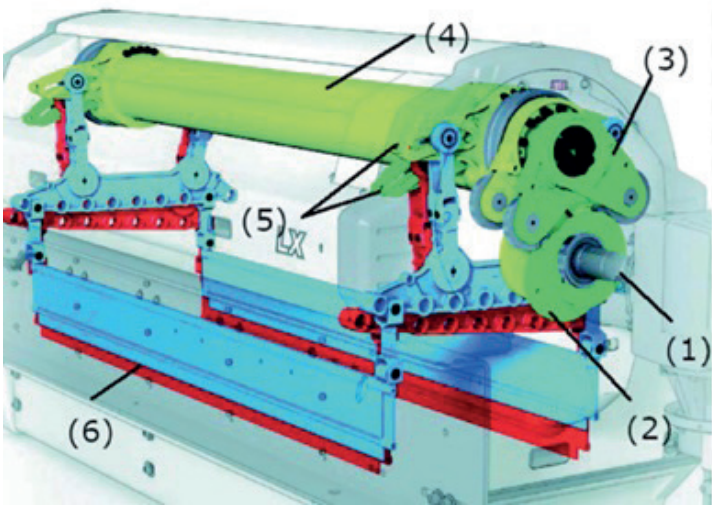
Dünyada Staubli firması haricinde elektronik jakar üreten Bonas ve Grosse firmaları da elektronik jakarlarında bazı tasarım farklılıklarıyla aynı makara sistemini kullanmaktadır. Bonas sisteminde çalışma prensibi Staubli ile aynı iken Grosse firmasında mekanik jakarlarda çalışma prensibindeki gibi çözümlünün üst ağızlık konumuna çıkabilmesi için kancalardan birinin üst ağızlık konumunda olması yeterlidir. Çözümlünün alt ağızlık konumu ise her iki kancanın da alt ağızlık konumunda bulunmasıyla gerçekleşmektedir.



Şekil 9. Staubli makara sistemli elektronik jakar çalışma prensibi

Elektronik jakarlarda makaraların kaldırılıp indirilmesi bıçaklar tarafından sağlanmakta ve bıçakların hareketi kam veya kol mekanizmaları ile üretilmektedir. Mekanizma tarafından kaldırılıp indirilen kollara bağlanan bıçaklar ve tahrik yöntemi Staubli firması için Şekil 10 da görülmektedir. Şekilde çift zamanlı jakar prensibinden dolayı birbirine zıt yönde hareket eden 2 ayrı bıçak grubu bulunmaktadır. Dolayısıyla bıçakların 1 periyotluk hareketi 2 tezgah devrinde tamamlanmaktadır. Tahrik mekanizması 2 nolu eşlenik kamlar ve 3 nolu sarkaç kollardan oluşmaktadır. Şekilde iç içe geçmiş ve birbirinden bağımsız olarak tahrik edilebilen 2 adet mil bulunmakta ve bu milin salınım hareketi kol mekanizmalarıyla bıçak gruplarına iletilmektedir. 2 farklı eşlenik kam iç içe geçmiş aynı merkezli 2 adet mil aracılığıyla bıçak gruplarına zıt yönlü hareket yaptırmaktadır. Şekilde mavi ve kırmızı renkte görülen bıçak grupları 8'er adet bıçak taşımaktadır. Ancak endüstriyel uy-

gulamada bu sayı jakar kapasitesine göre 16, 24 ve 32 olabilmektedir. Şekilde iç içe millere bağlı kollar üzerindeki kanallara hareket iletim çubuklarının bağlantı noktaları değiştirilerek daha büyük veya daha küçük boyutta ağızlık elde edilebilmektedir.



Şekil 10. Staubli elektronik jakar

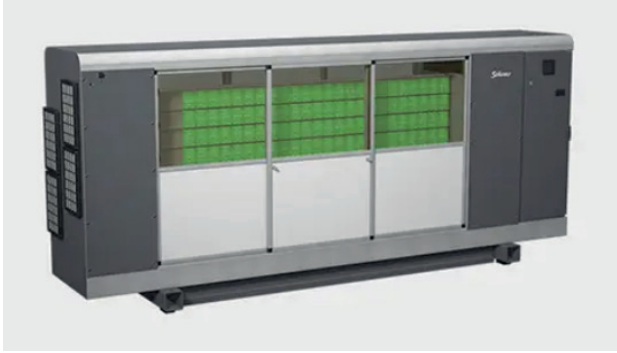
Günümüzde elektronik jakarlar belirli kanca kapasitelerinde üretilmektedir. 2400 kanca kapasiteli jakarlar endüstride en düşük kapasite olarak yaygın olmakla birlikte örneğin Staubli firması 2688, 4800, 6720, 8192, 8448, 10240, 12228, 14336, 15360, 17920, 20480, 23040 ve 25600 gibi kanca kapasitelerinde jakar üretimi yapmaktadır. Ayrıca yan yana 2 jakarın kullanımı ile 51000 kanca kapasitelerine ulaşılabilir. Diğer jakar üreticileri de benzer kapasitelerde jakarlar üretmektedir. Büyük kapasiteli (10000 ve üzeri kapasiteli) jakarlar ile 190cm ve daha geniş enli tezgahlarda en boyunca tek rapor halinde desenler üretilmektedir.

Makara prensibi ile çalışan elektronik jakarlar uzun yıllardır endüstride kullanılmakta olup hala endüstriyel üretime hakim olan elektronik jakar tipidir. Diğer yanda alternatif elektronik jakar teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar devam etmekte ve 2 farklı prensiple çalışan elektronik jakar sistemi geliştirilmiştir. Bunlar Grosse firmasına ait UNISHED2 ve Staubli firması tarafından geliştirilen UNIVAL 100 jakar sistemleridir. Aşağıda bu sistemler açıklanacaktır.

Şekil 11 Staubli firmasına ait UNIVAL 100 jakarını göstermektedir. Bu jakar teknolojisinde her bir çözgü ipliğinin kontrolü için ayrı bir minyatür motor kullanılmakta olup, motor miline dizim ipliğinin sarılacağı düşük küt-



leli plastik bir makara sabitlenmiştir. Motorun bir yönde dönüşü ile dizim ipliği makara üzerine sarılarak yukarı doğru çekilmekte ve dizim ipliğine bağlı gücüyü (dolayısıyla çözümlü ipliğini) yukarı kaldırmaktadır. Bu esnada yukarı yönlü hareket miktarı kadar uzayan geri getirme yaylarında aşağıya yönlü kuvvet oluşmaktadır. Örgüye bağlı olarak çözümlü üst konumda tutulacaksa motor üst konumda bekleme hareketi gerçekleştirir. Çözümün aşağıya indirilmesi durumunda ise yay kuvveti tarafından motor ters yönde döndürülmekte ve gücü ile birlikte çözümlü alt ağızlık konumuna kadar getirilmektedir. Motorun ters yönündeki dönüş hareketi esnasında jeneratör modunda çalışma gerçekleşip üretilen enerji sisteme geri verilebilmektedir. Bu durum jakarda tüketilen enerji miktarının azaltılmasına katkı yapmaktadır. Çözüm alt konuma ulaştığında motor örgü tarafından belirlenen sayıda bekleme yapar veya bezayağı örgü durumunda bir sonraki devirde üst ağızlık konumuna hareket eder. Her çözümlü ayrı bir motor tarafından tahrik edildiğinden en boyunca kumaştaki toplam çözümlü sayısı kadar minyatür motorun çözümlüleri kontrol etmesi söz konusudur. Dolayısıyla Unival 100 jakarı kullanan dokuma makinelerinde en boyunca tek bir rapora sahip desen elde edilmektedir. Ayrıca toplam sayıdaki motorun jakarda en boyunca dağılımı kumaşta kullanılacak çözümlü sıklığı tarafından belirlenmektedir. Sonuç olarak jakardan kumaşa doğru uzanan dizim iplikleri herhangi bir açısız eğim olmadan düz olarak tezgaha doğru uzanmakta veya çok küçük açısız sapmalar oluşmaktadır.



Şekil 11. Staubli UNIVAL 100 jakar

Şekil 12 Unival 100 jakarlarında kullanılan minyatür motor ve bu motorlardan oluşan bir modülü göstermektedir. Motor miline takılan kasnak üzerine sarı renkte gösterilen dizim iplikleri sarılmaktadır. Belirli sayıda motoru taşıyan modüller oluşturulmakta olup jakarlar bu modüllerin yan yana ve arka arkaya dizilmesiyle istenilen çözümlü sıklığı ve kapasitede oluşturulmaktadır. Şekildeki modülde 12 adet tahrik ünitesinin yerleşimi görülmektedir. Bu birim modül olup yan yana, üst üste ve arka arkaya sıralar halinde dizilmeler yoluyla istene ende jakar

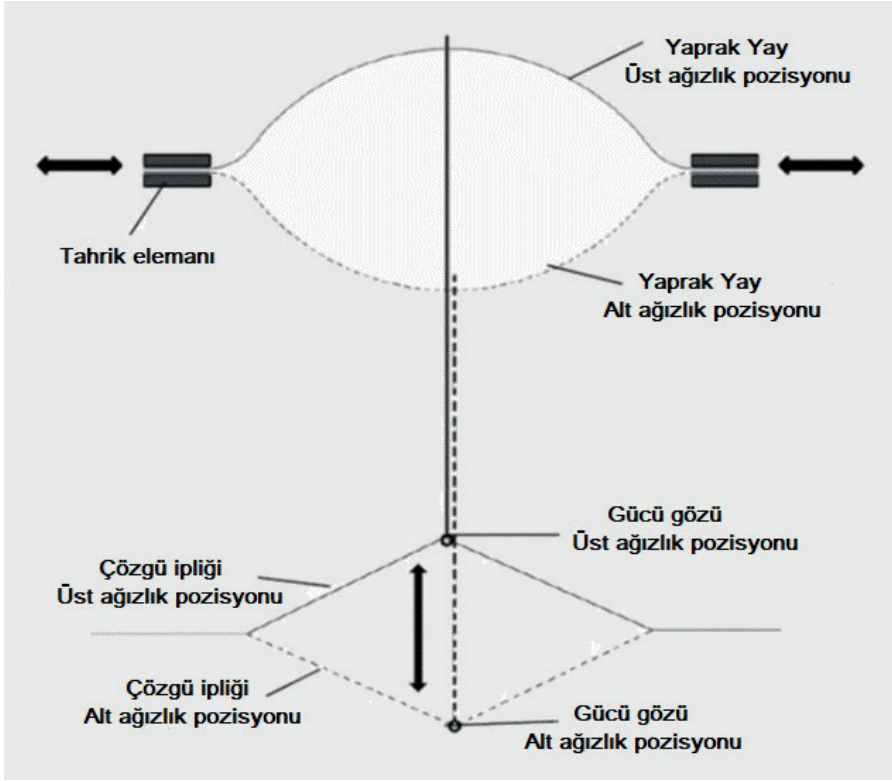
oluşturulmaktadır. Unival 100 jakarları dokumadaki çözgü eninden biraz daha geniş olarak tezgaha üst konumdan takılabilmektedir. Dizim ipliklerinin yerleşiminde çaprazlıklar söz konusu olmadığından tezgaha makara sistemli elektronik jakarlarla karşılaştırıldığında çok daha yakın konumda takılabilmektedir. Tek bir Unival 100 jakar en fazla 15360'a kadar çözgüyü kontrol edecek şekilde üretilmektedir. Ancak bir tezgaha 2 adet Unival 100 jakar yan yana takılarak 30720'ye kadar çözgüden oluşan bir kumaşın en boyunca tek desen raporuyla dokunması mümkün olmaktadır. Unival 100 jakarlar makara sistemli elektronik jakarlarla karşılaştırıldığında çözgü sıklığı ve jakar kapasitesi açısından bir kısıtlamaya sahip olmayıp desen kapasitesi ve desen boyutları ve tezgaha montaj kolaylığı ve kurulacağı işletmede tavan yüksekliği açısından avantajlar sağlamaktadır. Düz, havlu, halı, kadife ve teknik kumaşlar dahil her çeşit kumaşı üretiminde kullanılabilmesine rağmen yüksek maliyetinden dolayı endüstride özellikle teknik kumaşların dokunmasında nispeten sınırlı kullanım alanı bulmaktadır. Bunun sebebi jakarda herhangi bir değişiklik olmadan motorun döndürülme sayısını değiştirerek 2,3,4,5,6,... kat ağızlık tabakasını üst üste oluşturmak mümkün olmaktadır. Bu durum çok katlı teknik kumaşların dokunmasına ve aynı anda çok sayıda atkının atılmasına olanak sağlamaktadır.



**Şekil 12.** UNIVAL 100 jakarında kullanılan minyatür motor ve bu motorlardan oluşan bir modül

Diğer bir yeni jakar teknolojisi Grosse firmasının geliştirdiği Unished 2 jakar teknolojisidir. Bu teknoloji bu zaman kadar geliştirilen jakarlardan farklı olarak jakarlarda kullanılan geri getirme yayları ve dizim ipliklerini ortadan kaldırmakta çözgülerin hem kaldırılmasını hem de indirilmesini pozitif olarak gerçekleştirmektedir. Unished 2 jakar prensibi yaprak yaylardaki eğilme davranışını esas almaktadır. Şekil 13 de görüldüğü gibi belirli bir uzunluktaki ince ve dar bir metal plaka uçlarından yatay bir harekete zor-

landığında orta noktasında maksimum sehim meydana gelir. Bu sehim yukarı yönlü veya aşağı yönlü olabilir. Metal plakaya orta noktadan aşağı yönlü uzanan ince bir metal çubuk tutturulduğunda yukarı yönlü oluşan sehimle üst konuma, aşağı yönlü oluşan sehim ile alt konumuna hareket ettirilir. Dikey metal çubuğa bir gücünün bağlanması durumunda gücü gözünden geçen çözgü ipliği üst ve alt ağızlık konumlarına ulaşır ve ağızlık oluşumu meydana gelir. Üst ve alt sehim konumlarında yatay konumlanmış yaprak yayın bekletilmesi çözgülerin örgüye bağlı olarak üst ve alt ağızlık konumlarında bekletilmesine karşılık gelir. Şekilde sehimin üst ve alt konumlarda oluşması durumunda ağızlığın üst ve alt konumları görülmektedir. Unished 2 jakarında metal yaprak yayın uçlarından yatay olarak tahriki birer servo motor ile sağlanmaktadır. Sehimler üst ve alt konumlarında oluşması ise piezoelektrik tahrik elemanı içeren seçme mekanizması ile sağlanmaktadır. Şekilde görülen ünite bir adet kaldırma ünitesine ait olup jakarda arka arkaya, yan yana ve üst üste konumlanmış çok sayıda metal yaprak yay ve dikey çubuklar kullanarak Unished2 jakarını oluşturulmakta ve kullanılan yaprak yay sırası kadar tahrik servo motoru kullanılmaktadır. Kullanılan servo motor sayısı 12, 16 gibi rakamlara ulaşmaktadır. Unished2 jakarının kapasitesi yani kontrol edebileceği çözgü sayısı kadar yaprak yay ve dikey metal çubuktan oluşmaktadır. Bu jakar teknolojisinde de en boyunca tek raporlu bir desen üretilmekte olup kumaştaki çözgü sayısı kadar yaprak yay kullanılmaktadır. Yaprak yayların jakarın içindeki konumlanması çözgü sıklığına göre yapılmakta olup bir sıklıkla çalışılırken yeni sıklığa ait yaprak yay ve dikey metal çubuk dizimi oluşturularak farklı sıklıkta bir Unished2 jakarı elde edilebilmektedir. Bu anlamda dizim değiştirmekte minimum zaman kaybı ile gerçekleştirilmektedir. Gerek kontrol edilebilecek çözgü ipliği sayısını temsil eden jakar kapasitesi gerek üretim (çalışma) hızı açısından herhangi bir kısıtlamaya sahip olmayan Unished2 jakarı pozitif jakar olması, dizim ipliği ve geri getirme yayalarını ortadan kaldırması, büyük bir üst yapı gerektirmeden jakara yakın bir mesafeden takılabilmesi büyük avantajlar oluşturmasına rağmen ulaşılabilecek çözgü sıklığının sınırlı olması bu jakar teknolojisinin kullanımı büyük ölçüde sınırlandırmaktadır. Firma tarafından 40 tel/cm gibi en yüksek sıklıklar belirtilmekte ve uluslararası fuarlarda 32, 36 tel/cm gibi sıklıklarla çalışırken sergilenmektedir. Aslında her türlü iplik tipi ve dokuma makinasıyla çalışmak için uygun olmasına rağmen çözgü sıklığı sınırlaması dolayısıyla günümüzde nispeten kalın ipliklerle dokunan teknik tekstile yönelik kumaşların dokunmasında uygulama alanı bulabilmektedir.



Şekil 13. Grosse UNISHED2 jakar

## VI. SONUÇ

Yukarıda yapılan değerlendirmede ağızlık açma mekanizmalarının son teknolojik gelişmeler çalışma hızı, desenlendirme kapasiteleri ve geliştirilen yeni teknolojiler baz alınmıştır. Kranklı ağızlık açma mekanizmalarında daha sıkı kumaş yapılarının dokunmasını desteklemek amacıyla alt ağızlık konumunda yaklaşık bekleme hareketi yapan ağızlık şekline göre tasarlanmış 6 kol mekanizmaları da kullanılmaktadır. Kamlı ağızlık açma mekanizmalarındaki gelişmeler hem pozitif hem de negatif tiplerinde hava jetli ve su jetli tezgahların yüksek üretim hızlarında çalışmasıyla uyumlu olarak gerçekleşmiştir. Çoğunlukla maksimum 8 çerçeveye çalışan kamlı ağızlık açma mekanizmaları günümüzde örgü raporunda en yüksek 6 atkı olacak şekilde tasarlanıp üretilmektedir. Çalışma hızları nispeten daha düşük olan dokuma makinaları ile halı ve kadife dokuma makinalarında örgü raporunda daha yüksek atkı sayılarına göre de tasarlanıp kullanılmaktadır. Armürlü ağızlık açma mekanizmalarında kısa kanca prensibiyle çalışan negatif armürler yüksek hızlı bazı hava jetli ve su jetli tezgahlarda kullanılmakla birliktede endüstride yaygın kullanıma hakim olan armür tipi pozitif bir armür olan

rotary armürdür. Rotary armürler tüm atkı atma sistemlerine sahip dokuma makinelerinde 1000 d/d seviyelerinde hızlara kadar çalışabilmektedirler. Negatif armürlerin 16 çerçeve ile sınırlı olmasına karşılık rotaty armürler en yüksek 20, özel durumlarda 24 veya 28 çerçeveye kadar tasarlanıp üretilmektedir. Bu alandaki en son teknolojik gelişme ise her çerçevenin ayrı bir servo motor ile tahrik edildiği elektronik ağızlık açma mekanizmalarıdır. Tamamen elektronik kontrollü olmalarından dolayı armürlere nazaran bazı kumaşların üretiminde avantaj oluşturmakla birlikte yüksek maliyetinden dolayı sınırlı kullanıma sahiptir. Bu ağızlık açma mekanizması tipi de armürlerdeki gibi maksimum çerçeve sayılarını tahrik edebilecek seviyede üretilip kullanılmaktadır. Makara sistemli elektronik ağızlık açma sistemleri tek bir jakarda 20.000 kanca kapasitesini aşacak şekilde tasarlanıp üretilmekte ve en boyunca tek bir desen üretebilecek şekilde kullanılabilir. Üretim hızı açısından hava jetli ve su jetli tezgahlarla aynı hızlarda çalışabilmektedir. Alternatif olarak geliştirilen Unished2 ve Unival100 jakar teknolojileri en boyunca tek desen üretecek kapasiteye sahip sistemlerdir. Ancak Unival100 ün elektronik jakarının yüksek maliyeti ile Unished2 elektronik jakarının 40 tel/cm çözgü sıklığının üzerine çıkamaması endüstride sınırlı kullanım alanları bulmalarını olanak tanımıştır. Dolayısıyla endüstride hala hakim olan elektronik jakar teknolojisi makara sistemli ve elektromıknatıs seçme üniteli elektronik jakarlardır. Bu jakar teknolojisi gerek üretim hızı gerekse desenlendirme kapasitesi ve tasarım destek sistemleriyle günümüzde üretilen tüm dokuma makineleri ile kullanılabilir potansiyeline sahiptir.

## KAYNAKÇA

- [1] Recep Eren, G. Ozkan, M. Karahan, Comparison of heald frame motion generated by rotary dobby and crank. and cam shedding motions, *Fibre & Textiles in Eastern Europe* 13 (4) (2005) 52. October/December
- [2] Tsudakoma ZA209i Hava Jetli Tezgah Katalođu
- [3] Khalid, F., Ahmad, T., Khalid, A., (2014). Framework for Automated Dobby Based Fabric Design System, *International Journal of Scientific&Engineering Research*, Volume 5, Issue 8,879-885.
- [4] Eren, R. 2000. Armürlü Ağızlık Açama Mekanizmaları, *Tekstil Maraton Dergisi*, 46-55.

# BÖLÜM 4

## **TÜRKİYE’DE İMAR BARIŞI KANUNUNUN GETİRDİĞİ DEĞİŞİMLER: SWOT ANALİZİ PERSPEKTİFİ**

*Fatih TAKTAK<sup>1</sup>*



<sup>1</sup> Dr. Öğretim Üyesi

Uşak Kocatepe Üniversitesi, Sivahlı MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama, Uşak, Türkiye

DOI: <https://doi.org/10.35414/0000-0003-1324-2036>

## Giriş

Türkiye’de çıkarılan İmar Barışı Kanunu, kentsel dönüşüm süreçlerinin düzenlenmesi ve yapı stokunun kayıt altına alınması amacıyla 2018 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu kanun, ülke genelindeki yapılaşmanın yasal çerçeveye oturtulması, kaçak yapılaşmanın önüne geçilmesi ve kentsel dönüşüm süreçlerinin hızlandırılması gibi önemli hedeflerle oluşturulmuştur. Kanunun amacı, kaçak yapılaşmanın yaygın olduğu bölgelerdeki yapıların kayıt altına alınarak yasal bir statü kazanmasını sağlamak ve bu yapıların kamu hizmetlerinden yararlanmasını mümkün kılmaktır.

İmar Barışı Kanunu’nun yürürlüğe girmesiyle birlikte, Türkiye genelinde milyonlarca konut ve işyerinin kayıt altına alınması ve yasal bir statü kazanması mümkün hale gelmiştir. Bu durum, vatandaşların mülkiyet sorunlarının çözülmesine, yapı stokunun yenilenmesine ve kentsel dönüşüm süreçlerinin hızlanmasına önemli bir katkı sağlamıştır. Ancak, kanunun uygulanması sırasında çeşitli zorluklarla karşılaşmış ve çeşitli eleştirilere maruz kalmıştır.

Özellikle, kanunun kaçak yapılaşmayı teşvik edebileceği endişesi, imar planlarının dikkate alınmamasıyla ortaya çıkabilecek olumsuz etkiler, çevre ve doğal yaşam alanlarının korunmasına yönelik kaygılar ve yasal düzenlemelerin yetersizliği gibi konular, İmar Barışı Kanunu’nun getirdiği tartışmaların merkezinde yer almaktadır. Bu eleştirilerin yanı sıra, kanunun uygulanmasıyla birlikte ortaya çıkan fırsatlar ve olumlu etkiler de göz ardı edilmemelidir.

İmar Barışı Kanunu’nun Türkiye’deki kentsel dönüşüm süreçlerine etkilerini incelemek üzere bir zemin oluşturulmuş ve konunun genel bir çerçevesi çizilmiştir. Kanunun getirdiği değişimlerin detaylı bir analizine geçilmeden önce, bu değişimlerin arka planı ve temel hedefleri açıklanmıştır. Bu çalışma, Türkiye’de İmar Barışı Kanunu’nun uygulanmasıyla ortaya çıkan değişimleri SWOT analizi perspektifinden ele almaktadır. Analiz, kanunun getirdiği güçlü yönleri, zayıf yönleri, ortaya çıkardığı fırsatları ve beraberinde getirdiği tehditleri ayrıntılı bir şekilde inceler. Güçlü yönler arasında yapı stokunun düzenlenmesi ve yasal düzenlemenin getirdiği hukuki güvenceler yer alırken, zayıf yönler arasında uygulamanın yetersizliği ve kaçak yapılaşmanın teşvik edilmesi gibi konular ele alınmaktadır. Ayrıca, imar barışının sağladığı fırsatlar ve bu fırsatların nasıl değerlendirilebileceği, aynı zamanda olası tehditler ve bunların nasıl ele alınabileceği de detaylı bir şekilde incelenmektedir. Bu şekilde, Türkiye’deki imar barışı uygulamasının geniş kapsamlı bir değerlendirmesi sunulmaktadır.

## Türkiye’de Geçmişten Günümüze İmar Affı

Ülkemizde Cumhuriyet döneminden sonra artan kent nüfusu, kentlerin gelişimini ve planlamasını olumsuz etkilemiş ve gecekondularla çarpık yapı-



laşmaya yol açmıştır. Gecekondu sakinleri, başlangıçta yerel yönetimlerinin yıkım uygulamalarına karşı çıkmıştır; ancak belirli bir büyüklüğe ulaştıklarında yerel yönetimler için önemli bir politik güç durumuna gelmişlerdir. Bu süreçte, mevcut yapıların mülkiyeti ve yapılaşma hakları talepleri vuku bulmuştur. Bu talepler, 1948 senesinden günümüze kadar yaklaşık yirmi imar düzenlemesinin oluşturulmasına sebep olmuştur (İlgün ve Uysal, 2022; Yılmaz, 2023; Keleş, 2023).

Geçmişten günümüze gerçekleşmiş imar afları, ülkenin kentsel dönüşüm süreci ve yapılaşma politikalarının önemli bir parçasını oluşturmuştur. İmar afları, genellikle kaçak yapılaşmanın kontrol altına alınması, yapı stokunun düzenlenmesi ve vatandaşların yasal yollarla mülkiyet haklarını elde etmeleri amacıyla uygulanmıştır (Tatlı, 2020; Giritlioğlu & Özden, 2020).

1984-1985 yıllarında gerçekleşen ilk büyük ölçekli imar affı, Türkiye’deki kaçak yapılaşmanın artışıyla başlamıştır. Bu dönemde, kaçak yapı sahiplerine yapılarını kayıt altına alma ve yasallaştırma imkanı sunulmuştur. Ardından, 2004-2005 yıllarında benzer bir imar affı uygulanmış, kaçak yapı sahiplerine yapılarını kayıt altına alma ve yasallaştırma fırsatı verilmiştir (Aksoy, 2021).

2012-2013 yıllarında, kaçak yapılaşmanın artması ve plansız kentleşmenin yaygınlaşması nedeniyle yeni bir imar affı gerçekleştirilmiştir. Bu dönemde, belirli şartları sağlayan kaçak yapı sahipleri, yapılarını kayıt altına alarak yasal hale getirebilmişlerdir (Bozdağ & Ertunç, 2020).

2018 yılında ise Türkiye’de “imar barışı” adı altında yeni bir düzenleme yapılmıştır. Bu düzenleme kapsamında, kaçak yapıların kayıt altına alınması ve yapı sahiplerine yasal hale getirme imkanı sağlanmıştır. Ancak, imar barışı kapsamında belirli bir süre içinde başvuru yapılması gerekiyordu ve bu sürenin sonunda yapılmayan yapılar için yaptırımlar öngörülmüştür (Altınışik, 2022; Kavanoz & Erdem, 2022).

Bu imar affı ve imar barışı uygulamaları, Türkiye’deki kaçak yapılaşma sorununun çözümü ve yapı stokunun düzenlenmesi amacıyla yapılmıştır. Ancak, bu uygulamaların bazı eleştirilere ve tartışmalara yol açtığı da bilinmektedir. Özellikle, kaçak yapılaşmanın teşvik edilmesi ve plansız kentleşmenin önlenememesi gibi konular, bu uygulamaların eleştirildiği noktalardır (Bulubay, 2021; Tayfun & Kandemir, 2022).

### **İmar Barışı Süreci**

İmar affı, genellikle kentsel dönüşüm süreçleri, plansız yapılaşmanın kontrol altına alınması, yapı stokunun düzenlenmesi ve toplumsal düzenin korunması gibi çeşitli nedenlerle çıkartılmaktadır. İmar affı uygulamaları, kentleşme süreçlerinde ortaya çıkan kaçak yapılaşma sorununun çözümüne yönelik bir araç olarak kullanılmaktadır (Uzan, 2023). Kentsel dönüşüm, süreçlerinin gerekliliği gösterilebilir. Kentsel dönüşüm, kentlerde yaşanan

yapısal sorunların çözülmesi ve kentsel alanların daha sürdürülebilir hale getirilmesi amacıyla yapılan planlı ve düzenli müdahalelerdir. Bu süreçlerde, mevcut yapı stoğunun yenilenmesi ve modernleştirilmesi için imar affı uygulanabilir. Bu sayede, kaçak yapılaşma engellenirken, mevcut yapılar da yasal hale getirilerek kentsel dönüşüm sürecine katkı sağlanmaktadır (Ergen & Peker, 2022).

Plansız yapılaşmanın kontrol altına alınması amacıyla imar affı çıkarılmaktadır. Plansız yapılaşma, kentlerdeki dengesiz ve kontrolsüz yapılaşma sürecidir ve çeşitli sosyal ve çevresel sorunlara neden olabilmektedir. Bu sorunların çözümü için, mevcut kaçak yapılaşmanın yasal hale getirilmesi ve gelecekteki kaçak yapılaşmanın önlenmesi için imar affı uygulanabilmektedir (Yolcu, 2021).

Toplumsal düzenin korunması amacıyla imar affı düzenlemeleri yapılabilmektedir. Kaçak yapılaşma, toplumsal düzenin bozulmasına ve hukuki sorunlara yol açabilmektedir. Bu nedenle, mevcut kaçak yapılaşmanın yasal hale getirilmesi ve toplumsal huzurun sağlanması için imar affı uygulanmaktadır.

İmar affı uygulamaları genellikle kentsel dönüşüm süreçleri, plansız yapılaşmanın kontrol altına alınması ve toplumsal düzenin korunması gibi nedenlerle çıkartılmaktadır. Bu uygulamalar, kentlerin düzenli gelişimine katkı sağlarken, kaçak yapılaşmanın önlenmesi ve toplumsal huzurun korunması gibi önemli amaçlara hizmet etmektedir (Yılmaz, 2023).

Ülkemizde gecekondulaşma ve kaçak yapılaşma sorunlarının artmasıyla birlikte, “18 Mayıs 2018 tarihli Resmi Gazetede yayımlanan 7143 Sayılı Vergi ve Diğer Bazı Alacakların Yeniden Yapılandırılması ile Bazı Kanunlarda Değişiklik Yapılmasına İlişkin Kanun’un” kabul edilmesiyle “İmar Barışı” adı verilen bir düzenleme yürürlüğe girmiştir. İmar barışı uygulaması, 31 Aralık 2017 tarihinden önce inşa edilen, ruhsatı eksik, ruhsat ve eklerine aykırı ve imar kanununa uymayan binaları kapsamaktadır. Yasayla, vatandaşların gerekli şartları sağlaması durumunda yapı kayıt belgesi verilerek bu yapıların kayıt altına alınmasını sağlamaktaydı. Düzenlemenin amacı, vatandaşlar ile devlet arasındaki hukuki sıkıntıları çözüme kavuşturarak, imara aykırı yapıları kayıt altına almaktır. Bununla birlikte, düzenlemenin diğer önemli bir amacı da gelecekte yapılacak kentsel dönüşüm uygulamalarına ekonomik kaynak sağlamaktır. İmar barışı düzenlemesi ile “Yapı Kayıt Belgesi” verilmekteydi. Bu belgeyle Çevre Şehircilik ve İklim değişikliği Bakanlığı tarafından yetkilendirilen kuruluşlara başvurulduktan sonra gerekli şartların sağlanmasıyla imara aykırı yapıların kayıt altına alınması için verilmiştir (Keleş, 2023; Yılmaz, 2023).

Türkiye’de imar barışı uygulamasının hayata geçirilme sürecinde, kentsel dönüşüm, kaçak yapılaşmanın kontrol altına alınması ve yasal belirsizlik-

lerin giderilmesi gibi temel nedenler belirleyici olmuştur. Ülke genelindeki kentsel alanlarda artan nüfus ve kentsel göç, konut ihtiyacının karşılanması için plansız ve kaçak yapılaşmanın artmasına yol açmıştır. Bu durum, yapı stokunun düzensizleşmesine ve kentsel altyapının zayıflamasına neden olmuştur. Ayrıca, özellikle büyük şehirlerde deprem riski altındaki binaların yenilenmesi ve güçlendirilmesi gerekliliği, kentsel dönüşüm ihtiyacını gündeme getirmiştir. Ancak, kentsel dönüşüm projelerinin maliyeti ve sürecin karmaşıklığı, pek çok vatandaşın yasal olmayan yapılarını yeniden inşa etme imkanına sahip olmadığı anlamına gelmektedir. İmar barışı, bu noktada, kaçak yapıların yasallaştırılması yoluyla, hem kentsel dönüşüm sürecine bir alternatif sunmakta hem de yapı sahiplerine yasal güvence sağlamaktadır. Ayrıca, imar barışı düzenlemesi, hukuki belirsizliklerin giderilmesi ve yapı sahiplerinin mülkiyet haklarının güçlendirilmesi amacıyla hayata geçirilmiştir. Bu nedenle, imar barışı, Türkiye’deki kentsel dönüşüm sürecinde önemli bir araç olarak değerlendirilmektedir (Giritlioğlu, 2020; Cengiz, 2022).

### **SWOT Analizi**

SWOT analizi, bir organizasyon veya bir proje’nin iç ve dış faktörlerini değerlendirmek amaçlı kullanılan bir stratejik planlama aracıdır. SWOT, “Strengths (Güçlü Yönler), Weaknesses (Zayıf Yönler), Opportunities (Fırsatlar) ve Threats (Tehditler)” kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Bu analiz, bir organizasyonun veya proje’nin mevcut durumunu değerlendirerek, stratejik hedefler belirlemek ve gelecekteki eylem planlarını oluşturmak için kullanılır (Benzaghta vd. 2021, Puyt 2020).

SWOT analizinin temel amacı, bir organizasyonun veya projenin içsel ve dışsal faktörlerini sistematik bir şekilde değerlendirerek, güçlü ve zayıf yönlerini belirlemek, dış ortamda mevcut fırsatları ve tehditleri tanımlamak ve stratejik karar alma sürecine rehberlik etmektir (Hazzan 2017).

SWOT analizi genellikle aşağıdaki adımları içerir:

**Güçlü Yönlerin Tanımlanması:** Organizasyonun veya projenin içsel olarak sahip olduğu avantajlı özelliklerin belirlenmesi. Bunlar genellikle deneyim, bilgi birikimi, teknolojik yetenekler, marka itibarı, finansal kaynaklar gibi unsurları içerir.

**Zayıf Yönlerin Belirlenmesi:** Organizasyonun veya projenin içsel olarak sahip olduğu kısıtlamaların ve eksikliklerin tanımlanması. Bunlar genellikle yetkinlik eksiklikleri, kaynak yetersizlikleri, pazarlama zorlukları gibi unsurları içerir.

**Fırsatların Tanımlanması:** Organizasyonun veya projenin dışsal ortamında mevcut olan ve faydalı olabilecek olumlu koşulların belirlenmesi. Bunlar genellikle pazar genişleme fırsatları, yeni teknoloji gelişmeleri, rekabetçi zayıflıklar gibi unsurları içerir.

Tehditlerin Belirlenmesi: Organizasyonun veya projenin dışsal ortamında mevcut olan ve olumsuz etkiler yaratabilecek risklerin belirlenmesi. Bunlar genellikle yeni rekabetçi girişimler, pazarlama düzenlemeleri, ekonomik durgunluklar gibi unsurları içerir.

SWOT analizi, organizasyonun veya projenin stratejik pozisyonunu anlamak, mevcut durumunu değerlendirmek ve gelecekteki hedeflerini belirlemek için önemli bir araçtır. Bu analiz, organizasyonların ve projelerin rekabet avantajlarını maksimize etmelerine ve stratejik kararlar almalarına yardımcı olabilir (Leigh 2009, Puyt 2020).

### SWOT Matrisi

Stratejik planlama sürecinde, organizasyonun mevcut durumunu anlamak için SWOT analizi yapıldıktan sonra, SWOT matrisi (aynı zamanda TOWS matrisi olarak bilinir) oluşturulur. SWOT Matrisi, SWOT analizinin daha ileri bir aşaması olarak kabul edilir. SWOT analizi, bir organizasyonun iç ve dış çevresini analiz ederken güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatlarını ve tehditlerini belirler. SWOT Matrisi ise bu analiz sonuçlarını kullanarak stratejik seçenekler geliştirmek için bir araçtır (Şekil 1) (Teoli 2019, Ghazinoory 2007).

	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Fırsatlar	Aktörün Güçlü yönleri ile çevreden gelen fırsatları eşleştiren stratejiler	Fırsatları kullanmak amacıyla zayıf yönleri ortadan kaldırmaya yönelik stratejiler
Tehditler	Güçlü yönleri kullanarak dış tehditleri bertaraf etmeye yönelik stratejiler	Zayıflıkların dış tehditleri etkili kılmasını önleyecek savunma stratejileri

Şekil 1. SWOT Matrisi

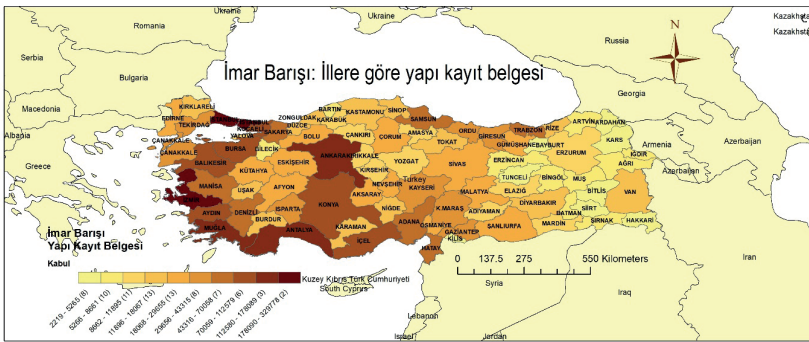
SWOT Matrisi, organizasyonun içsel güçlü ve zayıf yönleri ile dışsal fırsatlar ve tehditler arasında ilişki kurar. Bu matris, organizasyonun mevcut durumunu anlamak, stratejik hedefler belirlemek ve stratejik kararlar almak için kullanılır. SWOT Matrisi, organizasyonların SWOT analizinin sonuçlarını daha etkin bir şekilde kullanmalarına yardımcı olur.

SWOT Matrisi oluşturulurken, SWOT analizinde belirlenen güçlü yönler fırsatlarla eşleştirilir ve bu bağlamda stratejik avantajlar belirlenmeye çalışılır. Aynı şekilde, zayıf yönler tehditlerle eşleştirilir ve bu eşleşme sonucunda organizasyonun karşılaşılabileceği riskler ve zorluklar belirlenir. Bunun yanı sıra, güçlü yönler tehditlerle, zayıf yönler ise fırsatlarla eşleştirilir ve bu eşleşmeler sonucunda organizasyonun içsel ve dışsal faktörleri birleştirilerek stratejik seçenekler geliştirilir.

SWOT Matrisi, organizasyonların rekabet avantajlarını artırmak, güçlü yönlerini maksimize etmek, zayıf yönlerini geliştirmek, fırsatları değerlendirmek ve tehditleri yönetmek için stratejik kararlar almasına yardımcı olur. Bu matris, organizasyonların stratejik planlama sürecinde önemli bir araç olarak kullanılır ve stratejik yönetimde etkili bir rol oynar (Uçar and Doğru 2005, Doğan 2014).

### UYGULAMA: Türkiye’de İmar barışı

Türkiye’de imar barışına yapılan başvuru sayısı, ülkenin durumu açısından çeşitli sosyoekonomik ve çevresel faktörlerin etkisi altında incelenebilir. Bu başvuru sayıları, çeşitli dinamiklerin bir yansıması olarak değerlendirilebilir. Öncelikle, ekonomik koşulların başvuru sayıları üzerinde önemli bir etkisi olduğu gözlemlenmektedir. Ekonomik sıkıntılar yaşayan bireyler, mevcut yapılarını yasallaştırarak gelecekteki yaptırımlardan kaçınma isteğiyle hareket edebilirler. Ayrıca, kentsel dönüşüm ihtiyacı da başvuru sayılarını etkileyen bir faktördür. Plansız yapılaşma ve kaçak yapılar, şehirlerin çehresini olumsuz etkileyebilir ve kentsel dönüşüm projelerine olan talebi artırabilir. Hukuki güvence arayışı da imar barışına yapılan başvuruların artmasında önemli bir rol oynar. Vatandaşların yaşadığı hukuki belirsizlikler ve gelecekteki hukuki sorunlardan kaçınma isteği, başvuru sayılarını artırabilir. Bununla birlikte, çevresel faktörler de etkili olabilir. Plansız yapılaşmanın çevresel etkileri ve riskleri, vatandaşların mevcut yapılarını yasallaştırma eğiliminde olmalarına neden olabilir. Son olarak, kamu politikalarının imar barışını teşvik etmesi veya belirli bir süre için sunması da başvuru sayılarını etkileyebilir. Bu faktörlerin bir araya gelmesiyle, Türkiye’de imar barışına yapılan başvuru sayıları ülkenin durumu hakkında önemli ipuçları sunabilir (şekil 2).



Şekil 2. Türkiye’de imar barışına yapılan başvuru sayılarının tematik haritası

Verilen başvuru sayıları (Şekil 2,3), Türkiye genelinde imar barışı programına olan ilgiyi göstermektedir. Bu veriler, farklı bölgelerin ve illerin yapılaş-

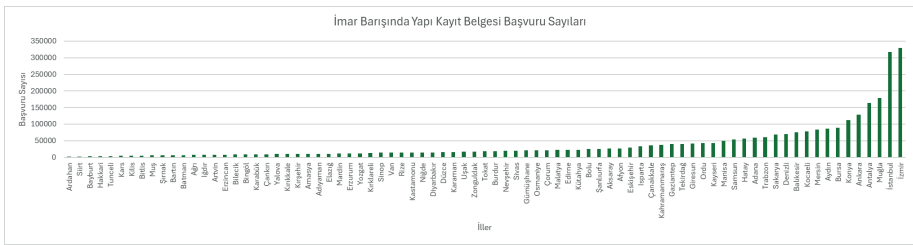
ma durumu ve imar sorunları hakkında önemli ipuçları sunabilir. Öncelikle, İstanbul ve İzmir gibi büyük metropol şehirlerindeki yüksek başvuru sayıları dikkat çekmektedir. Bu, yoğun nüfus ve büyük yapı stoğu ile ilişkilendirilebilir. Büyük şehirlerdeki bu yüksek talep, plansız yapılaşma sorunlarının ve kaçak yapıların yaygınlığını göstermektedir.

Diğer yandan, küçük ve daha az gelişmiş illerdeki düşük başvuru sayıları, bu bölgelerdeki yapılaşma sorunlarının ve kaçak yapıların daha az yaygın olduğunu göstermektedir. Ancak, bu düşük başvuru sayıları, bu illerdeki imar sorunlarının olmadığı anlamına gelmez. Bu illerde de imar barışı programına olan ilginin düşük olması, farklı nedenlere dayanabilir.

Bazı illerde ise orta düzeyde başvuru sayıları gözlemlenmektedir. Bu illerdeki yapılaşma durumunun ve imar sorunlarının orta düzeyde olduğunu göstermektedir. Vatandaşlar, mevcut yapılarını yasallaştırma ve gelecekteki yaptırımlardan kaçınma konusunda orta derecede bir ilgi olduğunu göstermektedir.

Başvuru sayılarının farklı illerdeki dağılımı (Şekil 3), ekonomik, sosyal ve çevresel faktörlerle de ilişkilendirilmelidir. Örneğin, ekonomik sıkıntılar veya kentsel dönüşüm projelerinin yoğunluğu, başvuru sayılarını etkileyebilmektedir.

İmar barışı programına yapılan başvuru sayıları, Türkiye'nin farklı bölgelerindeki yapılaşma durumunu ve imar sorunlarını yansıtmaktadır. Bu veriler, yapılaşma politikalarının ve çevresel faktörlerin etkilerini anlamak için önemli bir kaynak olabilir ve yapılaşma sorunlarının çözümüne yönelik politika oluşturma sürecine katkı sağlayabilir.



Şekil 3. Türkiye’de imar barışına yapılan başvuru sayılarının Tablosu (Euronews)

Türkiye’de imar barışının çıkarılma nedenlerinin SWOT analiziyle belirlenmesi, karar alıcıların ve ilgili paydaşların konuya daha kapsamlı bir bakış açısı kazanmalarını sağlayacaktır. Bu analiz, imar barışının potansiyel etkilerini ve karşılaşılabileceği zorlukları önceden belirlemeye yardımcı

olacaktır. Öncelikle, SWOT analizi, düzenlemenin güçlü yönlerini ve zayıf yönlerini belirlemek için kullanılacaktır. Bu, imar barışının avantajlarını ve dezavantajlarını anlamak için öneme sahiptir. Örneğin, kaçak yapıların yasallaştırılması, kentsel dönüşüm sürecini hızlandırabilirken, sınırlı bir başvuru tarihine sahip olması ve yapıların mevcut kullanım amacının değiştirilememesi gibi kısıtlamalar, düzenlemenin zayıf yönlerini oluşturabilir. Ayrıca, SWOT analizi, imar barışının uygulanmasından kaynaklanabilecek fırsatları ve tehditleri de ortaya koyacaktır. Örneğin, düzenlemenin kentsel dönüşüm ihtiyacını karşılaması ve yapı stoğunun düzenlenmesi gibi fırsatlar bulunurken, kötüye kullanılması veya yetersiz uygulanması durumunda yapılaşma sorunları ve çevresel riskler gibi tehditler ortaya çıkabilir. Bu nedenle, SWOT analizi, imar barışı düzenlemesinin etkin bir şekilde tasarlanması ve uygulanması için gerekli stratejik kararların alınmasına yardımcı olacaktır. İmar barışının çıkarılma nedenlerinin SWOT analiziyle ortaya konması, konunun tüm yönlerini kapsamlı bir şekilde değerlendirerek daha bilinçli kararlar alınmasını sağlayacaktır ve uzun vadeli başarı için uygun stratejilerin belirlenmesine katkı sağlayacaktır.

**Tablo 1.** *Türkiye’de uygulamaya sokulan imar barışı yasasının, SWOT analiz yöntemiyle zayıf yönleri*

S.N.	Zayıf Yönler
1	Yasal altyapı ve denetim mekanizmaları yetersizdi ve kaçak yapılaşmanın önlenmesinde etkisiz kaldı.
2	Belirlenen başvuru süresi kısaydı ve bazı yapı sahipleri bu süre içinde başvuru yapmak için yeterli fırsata sahip olamadılar.
3	Ödeme zorunluluğu bazı vatandaşlar için finansal zorluklar yarattı ve başvuru sayısını azalttı.
4	İmar barışı kapsamında yapıların mevcut kullanım amacının değiştirilememesi bazı yapı sahipleri için işlevsellik açısından kısıtlayıcı oldu.
5	İmar barışı ile yasallaştırılan yapıların güvenlik standartlarına uygunluğu ve yapı kalitesi konusunda belirsizlikler vardı. Bu, gelecekte yapısal problemlere yol açabilecek potansiyel riskler doğurdu.
6	İmar barışı ile yasallaştırılan yapıların çevresel etkileri ve şehir planlaması üzerindeki etkileri yeterince değerlendirilmedi. Bu, çevresel risklerin artmasına ve plansız kentleşmeye katkıda bulundu.

Bu zayıf yönler, imar barışı uygulamasının geçmişteki sorunlarını özetlemekte ve düzenlemenin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gereken alanları vurgulamaktadır.



**Tablo 2.** *Türkiye’de uygulamaya sokulan imar barışı yasaasının, SWOT analiz yöntemiyle Güçlü yönleri*

S.N.	Güçlü Yönler
1	İmar barışı yasası, kentsel dönüşüm projelerinin hızlanmasına ve bu sürecin teşvik edilmesine olanak sağladı.
2	Yasal düzenlemeler, kaçak yapılaşmanın kontrol altına alınmasına ve yasallaştırılmasına yardımcı oldu.
3	İmar barışı, yapı sahiplerine yasal bir düzenleme altında konutlarını yasallaştırma ve mülkiyet haklarını güvence altına alma fırsatı sundu.
4	Düzenleme, hukuki belirsizlikleri gidermeye ve yapı sahiplerine netlik ve güvenlik sağlamaya yardımcı oldu.
5	İmar barışı, kentsel altyapının düzenlenmesine ve şehir planlamasının iyileştirilmesine katkıda bulundu.

Bu güçlü yönler, imar barışı uygulamasının geçmişteki başarılarını özetlemekte ve düzenlemenin getirdiği olumlu etkileri vurgulamaktadır.

**Tablo 3.** *Türkiye’de uygulamaya sokulan imar barışı yasaasının, SWOT analiz yöntemiyle Fırsatlar*

S.N.	Fırsatlar
1	İmar barışı yasası, kentsel dönüşüm projelerinin hızlanmasına ve kentsel altyapının iyileştirilmesine olanak sağladı.
2	Düzenleme, yapı sahiplerine kaçak yapılarını yasallaştırma ve mülkiyet haklarını güvence altına alma fırsatı sundu.
3	İmar barışı, yapı sektöründe yeni yatırımların teşvik edilmesine ve ekonomik büyümenin desteklenmesine katkıda bulundu.
4	Düzenleme, kaçak yapılar için yapılan yıkım ve yeniden inşa maliyetlerinden kaçınılmasına yardımcı oldu ve kamu harcamalarında tasarruf sağladı.
5	İmar barışı, yerel yönetimlerin kentsel planlama ve altyapı projeleri için daha fazla kaynak ve kapasiteye sahip olmalarını sağladı.

Bu fırsatlar, imar barışı yasaasının geçmişteki başarılarını özetlemekte ve Türkiye’de kentsel dönüşüm ve yapılaşma konularında sağladığı olumlu etkileri vurgulamaktadır.

**Tablo 4.** *Türkiye’de uygulamaya sokulan imar barışı yasaasının, SWOT analiz yöntemiyle Tehditler*

S.N.	Tehditler
1	İmar barışı, plansız yapılaşmanın teşvik edilmesiyle çevresel risklerin artmasına neden olmuştur.
2	Yasallaştırılan kaçak yapıların güvenlik standartlarına uygun olmaması, gelecekte yapısal problemlerin artmasına yol açabilir.
3	İmar barışı, plansız kentsel gelişimi teşvik ederek şehir planlaması ve altyapı sorunlarını derinleştirebilir.
4	Düzenlemenin bazı hükümleri ve uygulamaları hakkındaki belirsizlikler devam etmektedir, bu da yapı sahiplerini ve yerel yönetimleri olumsuz etkileyebilir.
5	İmar barışı ile yasallaştırılan yapıların çoğunun güvenlik ve kalite standartlarına uygun olmaması, gelecekte yapı stoğunun kalitesizleşmesine neden olabilir.

Bu tehditler, imar barışı uygulamasının geçmişteki zorluklarını özetlemekte ve düzenlemenin beraberinde getirdiği riskleri vurgulamaktadır.

SWOT matrisi, Türkiye’de yasalaşan İmar Barışı yasaasının uygulamada içsel ve dışsal faktörlerini dengeli bir şekilde değerlendirerek, yasanın güçlü yönleri-



ni kullanarak fırsatları en iyi şekilde değerlendirmeyi ve zayıf yönlerini ele alarak tehditlere karşı önlem almayı sağlar. Bu analiz, yasanın başarılı bir şekilde planlanmış mı? Bir dahaki sefere bu tarz yasaların uygulanması ve sürdürülmesi için destekleyici bir araçtır (Çizelge 7).

**Tablo 5. SWOT Matrisi Sürdürülebilirlik stratejileri**

	Güçlü Yönler	Zayıf Yönler
Fırsatlar	<b>Güçlü-Fırsat Stratejileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yasadaki olumlu düzenlemeler, mülk sahiplerine yapılarını yasal hale getirme imkanı sunmuştu ve bu süreçte kentsel dönüşüm projelerine ivme kazandırmıştı.</li> <li>• Yasadaki düzenlemeler, kentsel dönüşümü teşvik edecek potansiyele sahip olmuştu ve aynı zamanda mülkiyet sorunlarının çözümmesine yardımcı olmuştu.</li> <li>• Yasadaki olumlu düzenlemeler, ekonomik rahatlama sağlama fırsatı sunmuştu ve vatandaşların mali yüklerini azaltmıştı.</li> <li>• Yasadaki düzenlemeler, yapılaşma sürecindeki sorunları çözmüş ve gelecek için planlı bir yapılaşma oluşturma fırsatı vermişti.</li> <li>• Yasadaki olumlu düzenlemeler, çevresel sürdürülebilirliği artırma ve şehirlerin altyapısını güçlendirme fırsatları sunmuştu.</li> </ul>	<b>Zayıf-Fırsat Stratejileri</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, vatandaşların doğru bilgilendirilememesi ve sorunların çözülmesinde güçlükler yaşanmasına rağmen, bu süreçte mülkiyet sorunlarının çözülmesi ve ekonomik rahatlama sağlama fırsatı ortaya çıkmıştı.</li> <li>• Yasadaki af şartlarının adaletsiz bulunması ve mülkiyet sorunlarının tam olarak çözülmemesine rağmen, geçmişteki hatalı yapılaşmaların yasal hale getirilmesi ve gelecekteki yaptırımlardan kurtulma imkanı gibi fırsatlar da sunulmuştu.</li> <li>• Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, hukuki güvencenin eksikliğine neden olmuştu ancak bu süreçte kentsel dönüşüm ve yenileme projelerine ivme kazandırma fırsatı da doğmuştu.</li> <li>• Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, yapılaşma sürecinde adaletsizlikleri artırmıştı ancak aynı zamanda uzun süredir çözülemeyen mülkiyet sorunlarının giderilmesi ve şehirlerin planlı ve sürdürülebilir bir şekilde gelişmesine katkıda bulunma fırsatı da sunmuştu.</li> <li>• Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, yasa dışı yapılaşmayı teşvik etmişti ancak bu süreçte kentsel dönüşüm ve yenileme projelerine hız kazandırma ve şehirlerin altyapısını güçlendirme gibi fırsatlar da ortaya çıkmıştı.</li> </ul>
	<b>Güçlü-Tehdit Stratejileri</b>	<b>Zayıf-Tehdit Stratejileri</b>

- Yasadaki olumlu düzenlemeler, mülk sahiplerine yapılarını yasal hale getirme imkanı sunmuştu, ancak bu süreçte yasanın belirsizlikleri ve af şartlarının adil olmayabileceği eleştirileri gibi tehditler, vatandaş güvenini zedeleyordu.
- Yasadaki düzenlemeler, kentsel dönüşümü teşvik edecek potansiyele sahipti, ancak yasanın uygulanması sırasında ortaya çıkan yasal karışıklıklar ve af şartlarının keyfi uygulanması gibi tehditler, adalet duygusunu sarsıyordu.
- Yasadaki düzenlemeler, mülkiyet sorunlarını çözmeye ve kentsel dönüşümü hızlandırma fırsatı sunmuştu, ancak yasanın belirsizlikleri ve karmaşıklıkları nedeniyle vatandaşlar doğru bilgilendirilemiyor ve sorunlar çözülüyor.
- Yasadaki olumlu düzenlemeler, ekonomik rahatlama sağlama potansiyeline sahipti, ancak yasanın uygulanması sırasında ortaya çıkan belirsizlikler ve keyfi uygulamalar, ekonomik istikrarı tehdit ediyordu.
- Yasadaki düzenlemeler, kentsel dönüşüm ve yenileme projelerine ivme kazandırma fırsatı sunmuştu, ancak yasanın belirsizlikleri ve karmaşıklıkları nedeniyle planlı ve sürdürülebilir bir gelişme sağlanamıyordu.
- Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, vatandaşların doğru bilgilendirilememesi ve sorunların çözülmesinde güçlükler yaşanmasına neden olmuştu, bu durum ise yasal güvenilirliği zedeleyerek toplumda endişe ve huzursuzluğa sebep oluyordu.
- Yasadaki af şartlarının adaletsiz bulunması ve mülkiyet sorunlarının tam olarak çözülmemesi, adalet duygusunun sarsılmasına yol açmıştı, bu da toplumsal gerilimi artırıyordu.
- Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, hukuki güvencenin eksikliğine yol açarak mülk sahiplerini hukuki açıdan korumasız bırakmıştı, bu da yasal belirsizliklerden kaynaklanan endişeleri artırıyordu.
- Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, yapılaşma sürecindeki adaletsizlikleri artırarak sosyal eşitsizliklere neden olmuştu, bu durum ise toplumsal hoşnutsuzluğu artırıyordu.
- Yasadaki belirsizlikler ve karmaşıklıklar, yasa dışı yapılaşmayı teşvik ederek gelecekteki kentsel planlamayı ve çevresel sürdürülebilirliği tehdit etmişti, bu da uzun vadeli çevresel ve ekonomik riskler doğuruyordu.

## Sonuçlar ve Tartışma

İmar barışı kanununun Türkiye'ye getirdiği değişimler, faydalar ve zararlar açısından dikkatle incelenmelidir. Bu kanunun uygulanması, özellikle uzun süredir çözülmemeyen mülkiyet sorunlarının giderilmesi ve yapılaşmanın yasal hale getirilmesi gibi faydalar sağlamıştır. Mülk sahipleri, yapılarını yasal hale getirme imkanı bulmuş ve bu sayede hukuki belirsizliklerden kurtulmuşlardır. Ayrıca, kanunun kentsel dönüşüm projelerine ivme kazandırması ve ekonomik rahatlama sağlaması da önemli avantajlardır. Ancak, bu faydaların yanı sıra imar barışı kanununun getirdiği bazı zararlar da vardır. Kanunun uygulanması sırasında ortaya çıkan belirsizlikler ve adaletsizlikler, toplumda hukuki güvensizlik duygusuna neden olmuş ve adalet duygusunun sarsılmasına yol açmıştır. Ayrıca, kanunun af şartlarının adil olmayabileceği eleştirileri ve yapılaşmanın çevresel etkileri gibi faktörler de dikkate alınmalıdır.

İmar Barışı Kanunu'nun Türkiye'deki etkilerini SWOT analizi perspektifinden değerlendirdiğimizde, çeşitli bulgulara ulaşmak mümkündür. Bu analizde, kanunun güçlü yönleri ile zayıf yönleri, aynı zamanda karşılaşılan fırsatlar ve tehditler belirlenmiştir.

Kanunun güçlü yönleri arasında, özellikle mülk sahiplerine yapılarını yasal hale getirme imkanı sağlaması ve kentsel dönüşüm projelerini teşvik etmesi önemli bir avantaj olarak belirlenmiştir. Bu düzenlemeler, uzun süredir çözülemeyen mülkiyet sorunlarının giderilmesine olanak tanımış ve ekonomik rahatlama sağlama potansiyeline sahip olmuştur. Ayrıca, yapılaşma sürecinde yaşanan belirsizliklerin giderilmesi ve planlı bir yapılaşmanın teşvik edilmesi gibi faktörler, kanunun güçlü yönlerini oluşturmuştur.

Ancak, kanunun zayıf yönleri ve karşılaşılan tehditler de göz ardı edilmemelidir. Kanunun uygulanması sırasında ortaya çıkan belirsizlikler ve adaletsizlikler, toplumda hukuki güvensizlik duygusuna neden olmuş ve adalet duygusunun sarsılmasına yol açmıştır. Ayrıca, kanunun af şartlarının adil olmayabileceği eleştirileri ve yapılaşmanın çevresel etkileri gibi faktörler de kanunun zayıf yönlerini oluşturmaktadır.

Bu analiz, İmar Barışı Kanunu'nun güçlü yönlerinin ve zayıf yönlerinin yanı sıra karşılaşılan fırsatların ve tehditlerin dengeli bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Kanunun etkin bir şekilde uygulanması ve sonuçlarının daha iyi anlaşılması için önemli bir rehberlik sağlar. Kanunun güçlü yönlerinin daha da geliştirilmesi ve zayıf yönlerinin üzerine odaklanması, gelecekteki düzenlemelerin daha etkili olmasına yardımcı olabilir.

İmar Barışı Kanunu'nun etkilerini SWOT matrisi perspektifinden değerlendirdiğinde, çeşitli bulgulara ulaşmak mümkündür. Bu analizde, kanunun içerisinde yer alan güçlü yönler ile zayıf yönler belirlenmiş, ayrıca karşılaşılan fırsatlar ve tehditler de dikkate alınmıştır.

Güçlü yönler arasında, kanunun mülk sahiplerine yapılarını yasal hale getirme imkanı sunması ve kentsel dönüşüm projelerine ivme kazandırması önemli bir avantaj olarak değerlendirilmiştir. Bu düzenlemeler, uzun süredir devam eden mülkiyet sorunlarının çözümüne olanak tanımış ve ekonomik rahatlama sağlamıştır. Ayrıca, yapılaşma sürecindeki belirsizliklerin giderilmesi ve planlı bir yapılaşmanın teşvik edilmesi gibi faktörler, kanunun güçlü yönlerini oluşturmaktadır.

Ancak, kanunun zayıf yönleri ve karşılaşılan tehditler de göz ardı edilemez. Kanunun uygulanması sırasında ortaya çıkan belirsizlikler ve adaletsizlikler, toplumda güvensizlik duygusuna neden olmuş ve adalet duygusunun sarsılmasına yol açmıştır. Ayrıca, kanunun af şartlarının adil olmayabileceği eleştirileri ve yapılaşmanın çevresel etkileri gibi faktörler, kanunun zayıf yönlerini oluşturmaktadır.

SWOT matrisi, bu güçlü yönlerin ve zayıf yönlerin yanı sıra karşılaşılan fırsatların ve tehditlerin dengeli bir şekilde değerlendirilmesini sağlar. Bu analiz, kanunun etkin bir şekilde uygulanması ve sonuçlarının daha iyi anlaşılması için önemli bir rehberlik sağlayabilir. Kanunun güçlü yönlerinin daha da geliştirilmesi ve zayıf yönlerinin üzerine odaklanması, gelecekteki düzenlemelerin daha etkili olmasına yardımcı olabilir.

## KAYNAKÇA

- Aksoy, E. (2021). Türkiye'de 1980 sonrası kalkınma planlarında yer alan vergi politikalarına ilişkin hedeflerin gerçekleşmeleri (Master's thesis, Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Altınışik, H. U. (2022). Tarihi Arka Planıyla Birlikte İmar Barışı 1. Third Sector Social Economic Review, 57(3), 1593-1610.
- Benzaghta, M. A., Elwalda, A., Mousa, M. M., Erkan, I. and Rahman, M., 2021. SWOT analysis applications: An integrative literature review. Journal of Global Business Insights, 6(1), 55-73.
- Bozdağ, A., & Ertunç, E. (2020). İmar Barışı Sürecinde İmar ve Şehircilik Gelişiminin CBS ile Analizi, Kayseri Büyükşehir Belediyesi Örneği. Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi, 2(2), 67-74.
- Bulubay, C. (2021). İmar Barışının Kentsel Korumaya Yönelik Olumsuz Etkilerinin İstanbul Tarihi Yarımada Perspektifinden İncelenmesi. Planlama, 31(3).
- Cengiz, E. (2022). Meclis Tutanaklarında İmar Affı Tartışmaları. The Journal of International Scientific Researches, 7(Ek), 66-81.
- Doğan, N. Ö. and Sözbilen, G., 2014. Kaya otel işletmeleri için en uygun stratejinin belirlenmesi: Bir SWOT/AHP uygulaması. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14(4), 95-112.
- Ergen, M., & Peker, Ü. (2022). Türkiye'deki Kentsel Dönüşüm Süreç Analizi; İstanbul-Gaziosmanpaşa Örneği. Journal of Agricultural Biotechnology, 3(2), 101-116.
- Ghazinoory, S., Esmail Zadeh, A. and Memariani, A., 2007. Fuzzy SWOT analysis. Journal of Intelligent and Fuzzy Systems, 18(1), 99-108.
- Giritlioğlu, P. P., & Özden, K. (2020). Kentsel Adalet Ekseninde İmar Afları: İmar Barışı Üzerine Bir Değerlendirme. Prof. Dr. Necla Giritlioğlu'na Armağan, 255-283.
- Hazzan, O., Heyd-Metzuyanim, E., Even-Zahav, A., Tal, T. and Dori, Y. J., 2017. Application of management theories for STEM education: The case of SWOT analysis. Springer.
- İlgün, A., & Uysal, H. (2022). Türkiye'de İmar Affı/İmar Barışı Kanunlarının Uygulamaları ve Karşılaşılan Sorunlar: Alanya Örneği. Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi, 4(1), 1-11.
- Kavanoz, S. E., & Erdem, N. (2022). İmar Barışı Uygulamasının Değerlendirilmesi: Trabzon Örneği. Planlama, 32(2).
- Keleş, İ. (2023). Türkiye'de imar aflarının imar yasaları ve imar planlarına etkisi. Sosyal, Beşerî ve İdari Bilimler Dergisi, 6(7), 969-990.
- Leigh, D., 2009. SWOT analysis. Handbook of Improving Performance in the Workplace: Volumes 1-3, 115-140.
- Puyt, R., Lie, F. B., De Graaf, F. J. and Wilderom, C. P., 2020. Origins of SWOT analysis.

In Academy of management proceedings (Vol. 2020, No. 1, p. 17416). Briarcliff Manor, NY 10510: Academy of Management.

- Tatlı, A. (2020). Türkiye'nin kentleşme sürecini etkileyen yasalar kapsamında imar afları; imar barışı yasal düzenlemesinin Ankara ilinde uygulanması (Master's thesis).
- Tayfun, Ç., & Kandemir, E. S. (2022). Türkiye'de imar uygulama mevzuatındaki gelişim süreci. *Geomatik*, 7(1), 26-40.
- Teoli, D., Sanvictores, T. and An, J., 2019. SWOT analysis.
- Uçar, D. and Doğru, A. Ö., 2005. CBS projelerinin stratejik planlaması ve Swot analizinin yeri. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 10.
- Uzan, H. K. (2023). Kentsel Dönüşüm: Belediyelerin Sorumlulukları ve Türkiye'de Mevzuat Değerlendirmesi. *Uluslararası Akademik Birikim Dergisi*, 6(5).
- Yılmaz, O. (2023). Politika Uygulama Aracı Olarak Türkiye İmar Affı Düzenlemelerinin Gelişimi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 5(2), 100-121.
- Yolcu, F. (2021). Türkiye'de Kentsel Dönüşümün Yasalar ve Aktörler Üzerinden Dönemsel Olarak Değerlendirilmesi. *Planlama*, 31(3).



# BÖLÜM 5

## **DEPREM SONRASINDA HAZIRLANAN HASAR TESPİT RAPORLARININ KONUT FİYATLARINA ETKİSİ: OSMANİYE İLİ ÖRNEĞİ**

*Nuri ERDEM<sup>1</sup>*



<sup>1</sup> Doç. Dr., Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Mühendislik Fak. Harita Müh. Böl., Osmaniye, Türkiye  
nurierdem@osmaniye.edu.tr, ORCID ID: 0000-0002-1850-4616

## GİRİŞ

İnsanlık var olduğu günden bugüne kadar geçirmiş olduğu süreçlerde doğal afetlerle mücadele edegelmiştir. İnsanoğluna büyük zararlar veren yaklaşık olarak yüzü aşkın afet çeşidi mevcuttur (Genç, 2007; Demirelli vd., 2023). Toplumların tüm birikimlerini çok kısa bir süre içerisinde yok edebilen depremler, bu afetlerden en tehlikelidir. Deprem, yer kabuğundaki fay adı verilen boşluklardaki enerjinin boşalması sonucu oluşan yer değiştirmenin etkisiyle meydana gelen elastik dalga hareketleridir (Gündoğdu vd., 2012; Demirelli vd., 2023).

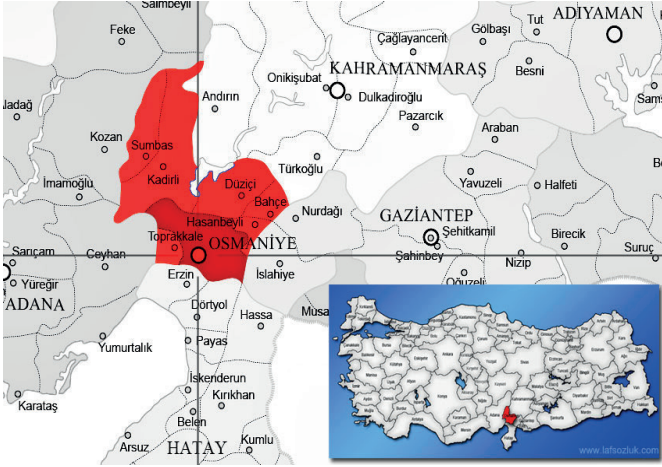
Deprem; tektonik kuvvet veya volkanik faaliyetlerin etkisiyle yer kabuğunda meydana gelen kırılmalar sonucu ortaya çıkan enerjinin sismik dalgalar şeklinde yayılma yaparak geçtikleri ortamları ve yeryüzünün bir kısmını kuvvetle sarsması olayıdır. Fay ise; tektonik hareketler sonucu yer kabuğunda meydana gelen kırıkların yer değiştirmiş kısmıdır. Eğim atımlı ve doğrultu atımlı şeklinde faylar ikiye ayrılır. Halk arasında depremin büyüklüğü ve şiddeti için kullanılan kavramlarda çoğunlukla yanlışlıklar yapılmaktadır. Depremin Büyüklüğünü: Depremin meydana getirdiği toplam enerjiyi ifade eden, aletsel olarak ölçüm ve hesaplamalar sonucu bulunan değerdir şeklinde ifade edilebilir. Depremin Şiddeti ise: meydana gelen yer hareketinin insanlar, hayvanlar, çevre, binalar ve tabiat üzerinde meydana getirdiği etki, hasar veya değişimlerin tümünün gözleme dayalı olarak derecelendirilmesi şeklinde tanımlanabilir. Yani; depremler sonrasında sismoloji ölçüm merkezleri tarafından açıklanmış olan değerler depremin «büyüklüğü» olarak tanımlanabilir (URL\_1).

Bu çalışmada; Osmaniye ili kent merkezindeki binalarda hasar tespit raporlarına göre konut fiyatlarının analizi yapılmıştır. Ayrıca 6 Şubat depremlerinin Osmaniye'deki konut sektörüne etkileri incelenmiştir.

## OSMANİYE'DE DEPREMİN ETKİSİ

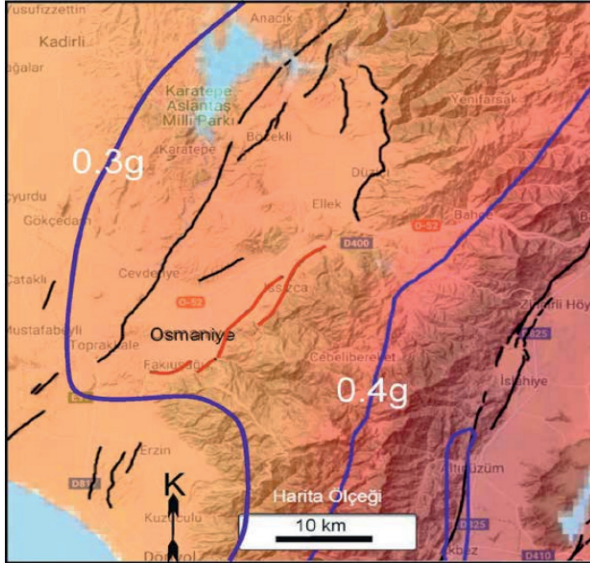
Yukarı Çukurova bölgesinde, Ceyhan Nehri'nin doğu tarafında yer alan, geniş ovalara sahip olan Osmaniye; Ceyhan Nehri gibi birçok dere ve çayları nedeniyle hem sulak hem de Çukurova bölgesini doğuya illerine bağlayan yolların kavşağında bulunması nedeniyle çok işlek bir bölgede yer almaktadır. Bölgeye özgü zengin tarım toprakları ve çok geniş ormanlara sahip bir ildir. Osmaniye; Akdeniz ve Çukurova Bölgesi'nin doğusunda yer almakta olup; 35° 52' - 36° 42' Doğu Meridyenleri, 36° 57' - 37° 45' Kuzey Paralelleri arasında kalır (Şekil 1). Doğusu tarafında Gaziantep, güneyinde ise Hatay, batısı tarafında Adana ve kuzeyinde ise Kahramanmaraş illeri mevcuttur. Yüzölçümü 3.279,9 km<sup>2</sup>'dir. Denizden yüksekliği yaklaşık 121 m.'dir (URL\_6).





Şekil 1. Osmaniye ilinin konumu

Osmaniye ilinin deprem tehlike haritası Şekil 2’de verilmiştir. Haritada gösterilen siyah ve kırmızı çizgiler il merkezi ve yakın çevresinden geçmekte olan aktif fayları göstermektedir. Şekil 2’de verilen haritaya göre ilde meydana gelecek bir deprem sonrasında oluşabilecek sarsıntının yer çekiminin %30 (0.3g) değeri ile %40 ı (0.4g) arasında olacağını göstermektedir. Bu haritaya göre ilin önemli bir deprem tehlikesi altında olduğu ve il merkezinin de depremden dolayı ileri düzeyde sarsılabilecek alanlardan birisi olduğu ortaya çıkmaktadır (URL\_2; URL\_3).



Şekil 2. Osmaniye’deki Deprem Tehlike Haritası (URL\_4). Siyah ve kırmızı çizgiler aktif fayları göstermekte olup il merkezinden geçen faylar kırmızı renktedir. Mavi çizgiler ise ivme değer sınırlarıdır.

Osmaniye'nin de içinde bulunduğu 11 ili (Kahramanmaraş, Hatay, Adıyaman, Osmaniye, Gaziantep, Adana, Kilis, Malatya, Diyarbakır, Şanlıurfa, Elâzığ) etkileyen Kahramanmaraş merkezli 6 Şubat depremleri büyük yıkımlara yol açmıştır. Merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ve Elbistan ilçeleri olan 6 Şubat'taki depremlerden etkilenen iller arasında yer alan Osmaniye'de hasar tespit çalışmaları tamamlanmıştır. Kent merkezi ve ilçelerde toplam 687 bina yıkılırken, 500 bina için acil yıkım kararı alınmıştır. 8834 binanın ise ağır hasarlı olduğu belirlenmiştir. Asrın felaketinde en fazla yıkım Osmaniye il merkezinde yaşanmıştır. İl merkezinde 249 bina yıkılmış ve 318 bina için ise acil yıkım kararı verilmiştir. 3497 binada ağır hasar tespit edilmiştir. Yıkılan ya da acil yıkım kararı verilen 1187 binanın yüzde 47'si (567) kent merkezinde yer almaktadır. Bu durum, barınma sorunları yüzünden yeni konut alanlarının oluşmasını kaçınılmaz hale getirmektedir (AA).

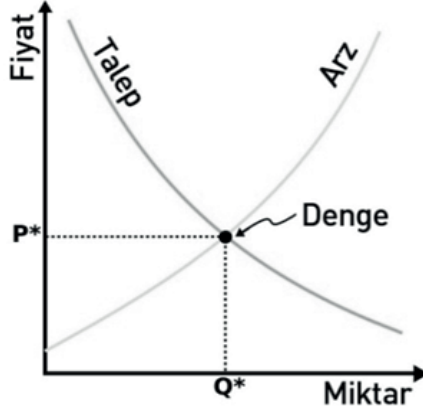
### **HASAR TESPİTİ ve KAPSAMI**

Hasar tespiti; olmuş bir felaketin yapıya vermiş olduğu hasarların gözlemsel olarak değerlendirilmesi ve derecelendirilmesi işlemidir. Hasar tespit çalışmaları, 7269 sayılı Umumi Hayata Müessir Afetler Dolayısıyla Alınacak Tedbirlerle Yapılacak Yardımlara Dair Kanun bağlamında afetler sonrasında yapılacak acil yardım, hak sahipliğinin belirlenmesi, kira yardımlarının yapılması ve yer seçimine dayalı hazırlık mahiyetinde işlemlerin tümüdür. Ancak, bu çalışmalar yapıların muhtemel afetler sırasındaki davranışını, dayanma performansını ve yıkılma riskini ortaya koyacak nitelikte ve o kapsamda değildir. Yani, meydana gelmiş afet sonrasında, o afetin binada oluşturduğu hasarın boyutunun tespitini içerir. Bunun dışındaki diğer tüm hataları ve geçmiş afet izlerinin belirlenmesi gibi bir durum söz konusu değildir ve bu afet hasar tespit çalışmaları sırasında dikkate alınmaz. Hasar tespiti, meydana gelmiş her türlü afetlerin binalara verdiği hasarların gözlemsel olarak değerlendirilmesi ile hasarsız, az, orta, ağır/yıkık şeklinde sınıflandırılması işlemidir (AFAD Hasar tespit Genelgesi; URL\_5).

### **KONUT DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ**

Değerleme konusu teknik bir konudur ve değere etki eden birçok parametre vardır. Taşınmazın değerlendirme parametreleri; arsa, arazi ve konut olma durumuna bağlı olarak taşınmaz tiplerine göre farklılıklar göstermektedir. Bu parametreler içinde taşınmazın ait teknik verilerinin bulunmasının yanı sıra sosyal anlamda insanların bakışları ve düşünceleri de göz ardı edilmemelidir. Bir taşınmazın değeri için en başta dikkate alınacak unsur onun ağırlıklı olarak teknik verileridir. Örneğin arsalar için bulunduğu konum, TAKS, KAKS, kat adedi, yapı düzeni gibi parametreler öncelikli belirleyicilerdir. Bunun yanında alıcı kişinin duygu, düşünce ve bakış açısı ile arz ve talebin dengelenmiş olduğu nokta, değer de tahmin edildiği noktadır (Şekil 3). Böyle bir durumda sübjektif parametrelere uygun olarak arsa fiyatına göre değer belirlenmesi değil, arsanın değerine göre fiyatın belirlenmesi gerekir (Yalçır

ve Ünel, 2016). Konut değerlemesinde de benzer şekilde konum, bulunduğu kat, yapı düzeni, cephe, alanı, oda sayısı, işçilik ve kullanılan malzeme kalitesi gibi parametreler öncelikli belirleyici özelliklerdir.



Şekil 3. Arz ve talebin dengelendiği nokta (Yalpır ve Ünel, 2016).

Toplu değerlemede kullanılacak parametrelerin değerlendirme sonuçlarının doğruluğu ve işlem hızı bakımından gerekli en az sayıda olması beklenmektedir. Bütün parametrelerin toplu değerlendirme işlemlerinde kullanılması zaman, maliyet, emek ve daha pek çok sebeplerden dolayı mümkün değildir. Ülkemizde yaklaşık 500 milyon parsel olduğu hesap edilirse, bu parseller için 10 tane veri girişi yapılması durumunda, bu 5 milyar işlem yapılacağı anlamına da gelmektedir. Arsa değerini etkileyen parametrelerin optimize edilmesi ile bu alandaki iş yükü azalarak, böylelikle doğru ve güvenilir bir veri tabanı elde edilmiş olacaktır (Yalpır ve Ünel, 2016).

### HASAR TESPİT RAPORLARINA GÖRE KONUT FİYAT DEĞİŞİM ANALİZİ

Konut fiyat araştırması için Osmaniye il merkezinde faaliyet gösteren emlakçılardan ve sahibinden.com gibi konut satış sitelerindeki ilanlardan bilgi toplanmıştır. Elde edilen bilgilere göre az hasarlı olan konutların aynı bölgede hasarsız emsalleri bulunmuş ve fiyat karşılaştırması yapılmıştır. Emsal konutlar için aynı sokak veya yakın bölgede olmasına, oda sayısı, m<sup>2</sup>'si, kat adedi ve kat yüksekliği gibi konut değerini etkileyen parametrelerin benzer veya çok yakın olmasına özen gösterilmiştir.

**Konut 1:** Fakuşağı Mahallesi'nde bulunan 5 katlı binanın zemin katında bulunan daire; 2+0 odalı, 50 metrekarelik daire 1 balkon ve 1 banyoya sahiptir. Konum olarak üniversite ve kafeler caddesine yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 320.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 750.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdelik olarak %134,37 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m <sup>2</sup>	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Fakıuşağı Mah.	5	Zemin	50	2+0	1	1	Üniversite ve Cafeler	320.000	750.000	Az Hasarlı

Yüzelik Değişim: %134,37

**Emsal Konut 1:** Fakıuşağı Mahallesi'nde bulunan 1. Konutun emsali olarak 5 katlı binanın zemin katı, 2+0 odalı, 55 metrekarelik daire 1 oda ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak üniversite ve kafeler caddesine yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 350.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 830.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %137,14 belirlenmiştir.





Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m <sup>2</sup>	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Fakuşağı Mah.	5	Zemin	55	2+0	1	1	Üniversite, cafe	350.000	830.000	Hasarsız

Yüzdellik Değişim: %137,14

**Konut 2:** Dr. Devlet Bahçeli Bulvarı 2. Etap'ta bulunan 5 katlı binanın 3. katı, 4+1 odalı, 167 metrekarelik daire 2 banyo ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak Dr. Devlet bahçeli Bulvarı üzerindedir. Dairenin deprem öncesi değeri 2.100.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 2.700.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdellik olarak %28,57 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m <sup>2</sup>	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Dr. Devlet Bahçeli Bulvarı 2. Etap	5	3	167	4+1	2	1	Cadde üzeri cafe çarşı	2.100.000	2.700.000	Az Hasarlı

Yüzdellik Değişim: %28,57

**Konut 2 Emsal:** Konut 2'nin emsali olarak Dr. Devlet Bahçeli Bulvarı 3. Etap'ta bulunan 5 katlı binanın 5. katı, 4+1 odalı, 170 metrekarelik daire 2 banyo ve 2 balkona sahiptir. Konum olarak cafe üzeridir, cafe, sağlık ocağı ve çarşıya yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 2.800.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 4.000.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdellik olarak %42,85 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Devlet Bahçeli Bulvarı 3. Etap	5	5	170	4+1	2	2	Cadde üzeri, cafe, çarşı	2.800.000	4.000.000	Hasarsız

Yüzelik Değişim: %42,85

**Konut 3:** Raufbey Mahallesi'nde bulunan 4 katlı binanın 1. katı, 2+1 odalı, 100 metrekarelik daire 1 banyo ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak camiye yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 600.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 1.050.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %75 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Raufbey Mah	4	1	100	2+1	1	1	İbadethane	600.000	1.050.000	Az Hasarlı

Yüzelik Değişim: %75

**Konut 3 Emsal:** Konut 3'ün emsali olarak Raufbey Mahallesi'nde bulunan 4 katlı binanın 2. katı, 2+1 odalı, 105 metrekarelik daire 1 balkon ve 1 banyoya sahiptir. Konum olarak okul ve camiye yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 680.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 1.200.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %76,47 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m <sup>2</sup>	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Raufbey Mah.	4	2	105	2+1	1	1	Okul ve İbadethane	680.000	1.200.000	Hasarsız

Yüzelik Değişim: %76,47

**Konut 4:** Rahime Hatun Mahallesi'nde bulunan 5 katlı binanın 2. katı, 3+1 odalı, 140 metrekaarelik daire 2 banyo ve 2 balkona sahiptir. Konum olarak okul ve markete yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 1.950.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 1.700.000 TL'ye inmiştir. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %-12,82 belirlenmiştir. Buradaki fiyat düşmesinin sebebi olarak; 6 Şubat Kahramanmaraş depreminden en fazla etkilenen mahalle olmasıdır.





Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Rahime Hatun Mah.	5	2	140	3+1	2	2	Okul ve Market	1.950.000	1.700.000	Az Hasarlı

Yüzelik Değişim: % -12,82

**Konut 4 Emsal:** Konut 4'ün emsali olarak Rahime Hatun Mahallesi'nde bulunan 5 katlı binanın 3. katı, 3+1 odalı, 135 metrekarelik daire 2 banyo ve 2 balkona sahiptir. Konum olarak dış hastanesi civarındır. Dairenin deprem öncesi değeri 2.1000.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 2.450.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %16,66 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Rahime Hatun Mah.	5	3	135	3+1	2	2	Market ve Dış Hastanesi	2.100.000	2.450.000	Hasarsız

Yüzelik Değişim: %16,66

**Konut 5:** Fakiuşağı Mahallesi'nde Safir Park Life sitesinde bulunan 7 katlı binanın 2. katı, 4+1 odalı, 190 metrekarelik daire 2 banyo ve 2 balkona sahiptir. Konum olarak liseler kampüsü ve üniversiteye yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 1.600.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 2.700.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %68,75 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Fakuaşğı Mah. Safir Park Life	7	2	190	4+1	2	2	Liseler kampüsü	1.600.000	2.700.000	Az hasarlı

Yüzelik Değişim: %68,75

**Konut 5 Emsal:** Konut 5'in emsali olarak Fakuaşğı Mahallesi'nde bulunan 7 katlı binanın 3. katı, 4+1 odalı, 175 metrekarelik daire 2 banyo ve 2 balkona sahiptir. Konum olarak üniversite ve valilik konağına yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 2.500.000 TL iken, deprem sonrasında bu değeri 4.300.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzelik olarak %72 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Fakuşağı Mah.	7	3	175	4+1	2	2	Üniversite, valilik konağı	2.500.000	4.300.000	Hasarsız

Yüzdellik Değişim: %72

**Konut 6:** Kazımkarabekir Mahallesi'nde bulunan 4 katlı binanın 2. katı, 2+1 odalı, 110 metrekarelik daire 1 banyo ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak yeni devlet hastanesi civarındadır. Dairenin deprem öncesi değeri 950.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 1.350.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdellik olarak %42,10 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Kazımkarabekir Mah.	4	2	110	2+1	1	1	Yeni Devlet Hastanesi Yakını	950.000	1.350.000	Az Hasarlı

Yüzdellik Değişim: %42,10

**Konut 6 Emsal:** Konut 6'nın emsali olarak Kazımkarabekir Mahallesi'nde bulunan 5 katlı binanın 3. katı, 2+1 odalı, 115 metrekarelik daire 1 banyo ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak yeni devlet hastanesi civarındadır. Dairenin deprem öncesi değeri 1.200.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer

1.700.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdelerik olarak %41,66 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m2	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Kazımkarabekir Mah.	5	3	115	2+1	1	1	Yeni Devlet Hastanesi Civarı	1.200.000	1.700.000	Hasarsız

Yüzdelerik Değişim: %41,66

**Konut 7:** Raufbey Mahallesi'nde bulunan 4 katlı binanın 2. katı, 3+1 odalı, 150 metrekarelik daire 2 banyo ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak Atatürk caddesi üzerindedir. Dairenin deprem öncesi değeri 2.000.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 2.600.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi az hasarlı olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdelerik olarak %30 belirlenmiştir.





Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m <sup>2</sup>	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Raufbey Mah.	4	2	150	3+1	2	1	Atatürk Caddesi Üzeri	2.000.000	2.600.000	Az Hasarlı

Yüzdellik Değişim: %30

**Konut 7 Emsal:** Konut 7'nin emsali olarak Raufbey Mahallesi'nde bulunan 4 katlı binanın 2. katı, 3+1 odalı, 170 metrekarelik daire 2 banyo ve 1 balkona sahiptir. Konum olarak Park 328 civarındadır, kafelere yakındır. Dairenin deprem öncesi değeri 3.100.000 TL iken, deprem sonrasında bu değer 3.850.000 TL'ye çıkmıştır. Yapılan hasar tespit raporu daireyi hasarsız olarak değerlendirmiştir. Görülen fiyat artışı yüzdellik olarak %30 belirlenmiştir.



Mahalle/ Konumu	Bina Kat Sayısı	Daire Kat Sayısı	m <sup>2</sup>	Oda Sayısı	Banyo Sayısı	Balkon Sayısı	Konum Olarak Yakınlık	Deprem Öncesi Fiyat	Deprem Sonrası Fiyat	Hasar Tespit Raporu
Raufbey Mah.	4	2	170	3+1	2	1	AVM Çevresi	3.100.000	3.850.000	Hasarsız

Yüzdellik Değişim: %24,19

## SONUÇ

Osmaniye kent merkezindeki çeşitli mahallelerde yapılan hasar tespit raporlarına göre konut fiyatlarındaki değişimler analiz edildiğinde, deprem sonrasında genel oranda fiyat artışlarının olduğu tespit edilmiştir. Ancak, 6 Şubat Kahramanmaraş depreminin en çok yıkımın yaşandığı ve ağır hasarlı bina sayısının en fazla olduğu Rahime Hatun mahallesinde ise konut fiyatla-

rında düşüş gözlenmiştir. Yapılan araştırmadaki genel olarak deprem etkisiyle konut fiyatlarında ortalama %53,12'lik bir artış olduğu gözlenmiştir.

Hayatın devamı ve özellikle aile hayatının devamı, birliği ve bütünlüğü için konut ihtiyacı özellikle asrın felaketi deprem sonrasında daha da önemli hale gelmiştir. Bunun için en kısa zamanda yeni konut projeleri geliştirilmeli ve uygulamaya konulmalıdır. Özellikle orta ve dar gelirli vatandaşların uygun şartlarda aile konutlarının edinebilmeleri için devlet destekleri arttırılmalıdır. Konteyner kent gibi geçici barınma merkezlerindeki ailelerin bir an önce kalıcı konutlarına geçmesi sağlanmalıdır.

Afetten etkilenmiş olan toplulukların geçim kaynaklarının geri kazandırılması için; hayatın dokusunun kurulması ve yeniden inşa programının mümkün olan en kısa sürede başlaması gerekmektedir.

**KAYNAKÇA**

- AA, <https://www.aa.com.tr/tr/asrin-felaketi/depremin-etkiledigi-osmaniyede-en-fazla-yikim-kent-merkezinde-gerceklesti/2868167>
- AFAD Hasar tespit Genelgesi, [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/Genelge/Hasar\\_Tespit\\_Genelgesi\\_ve\\_Ekleri.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/Genelge/Hasar_Tespit_Genelgesi_ve_Ekleri.pdf)
- Gündoğdu, O. (1986). Türkiye depremlerinin kaynak parametreleri ve aralarındaki ilişkiler. Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Gündoğdu, O., Işık, Ö., & Koç, S. (2012). Marmara ve çevresinde deprem tehlikesi. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 28(2), 71-81. <https://doi.org/10.5222/otd.supp2.2012.071>
- Genç, F. N., (2007). Türkiye’de Doğal Afetler ve Doğal Afetlerde Risk Yönetimi, *Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 9, 201-226.
- Demirelli, E., Solak, H. İ., & Tiryakioglu, İ., (2023). Makine öğrenmesi algoritmaları ile deprem katalogları kullanılarak deprem tahmini. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(4), 979-989. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1268504>
- Yalpir, Ş., Ünel, F. B., (2016). Türkiye ‘de ve Uluslararası Çalışmalarda Arsa Değerlemede Kullanılan Kriterlerin İrdelenmesi ve Faktör Analizi ile Azaltımı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, AKÜ FEMÜBİD 16 (2016) 025502(303-322), DOI: 10.5578/fmbd.28134.
- URL\_1: [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/39500/xfiles/deprem\\_nedir.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/39500/xfiles/deprem_nedir.pdf)
- URL\_2: [https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/diri\\_fay\\_haritalari/gazi-antep.pdf](https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/diri_fay_haritalari/gazi-antep.pdf)
- URL\_3: [https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/bd05b91246b7809\\_ek.pdf?dergi=JE-ODERG%DD](https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/bd05b91246b7809_ek.pdf?dergi=JE-ODERG%DD)
- URL\_4: <https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml>
- URL\_5: [https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/39510/xfiles/hasar\\_tespit\\_-\\_10x21.pdf](https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/39510/xfiles/hasar_tespit_-_10x21.pdf)
- URL\_6: <https://osmaniye.csb.gov.tr>





# BÖLÜM 6

## **GIDA ÜRÜNLERİNİN KURUTULMASINDA KULLANILAN GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULAR**

*Zehra Yıldız<sup>1</sup>*



## 1. GİRİŞ

Gıda ürünlerinin bozulmasına neden olan nem, kurutma işlemi ile gıdanı uzaklaştırılarak ürünün bozulması engellenebilir ya da bozulma yavaşlatılarak raf ömrü uzun ürünler elde edilebilir. Bunu sağlamak için sıcak hava ile kurutma, vakumda kurutma, mikrodalga kurutma, güneş enerjili kurutma ve dondurarak kurutma gibi çeşitli kurutma işlemleri uygulanabilir. Kurutma işleminde istenen kuru ürün kalitesinin yanı sıra kurutucu türü, enerji kaynağı ve maliyet gibi birçok faktör de dikkate alınması gerekir. Kurutma için gereken enerji, güneş enerjisinden elde edilerek kurutma işlemi ekonomik olarak gerçekleştirilebilir. Ancak geleneksel olarak güneş altında kurutma işlemi ile gıda ürünlerinin çeşitli safsızlıklarla kirlenmesinden ürünün kalitesi olumsuz etkilenirken, kurutma işlemi vakit almaktadır. Bu olumsuz etkileri ortadan kaldırmak için kapalı bir hacimde kurutmanın sağlandığı kurutucular kullanılabilir ancak güneş enerjili kurutucular dışındaki kurutucular konvansiyonel enerji kaynaklarını kullanmakta olup hem çevre hem de işletme maliyeti açısından uygun değildir. Bu çalışmada farklı tipte güneş enerjili kurutucular tanıtılmıştır.

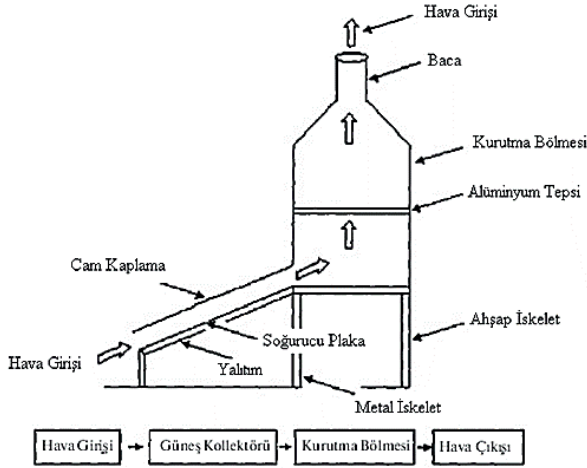
Kurutma işlemi etkileyen faktörler, kurutulacak ürünün özellikleri, istenen kuru ürün kalitesi, kurutucu cinsi, enerji kaynağı ve maliyettir. Kurutma işleminin maliyetini azaltmak için gereken ısının hangi enerji kaynağından elde edileceği önemlidir. Fosil yakıtla ısı sağlanan kurutucular, genelde yüksek sıcaklıklı kurutuculardır. Güneş enerjisinin kullanıldığı kurutucular ise düşük sıcaklıklı kurutuculardır. Yüksek sıcaklıklı kurutucular, kısıtlı sürede ve hızlı bir şekilde ihtiyaç olduğunda kullanılır. Çok yüksek sıcaklıklarda çalışmaktadır. Gereğinden fazla ürünle temas halinde kalırsa üründe istenen gevreklik ve pufuk sağlanmayabilir. Kurutma da gıda ürünü katlanabilir veya kıvrılabilir esneklikte olmalıdır. Bu sebeple yüksek sıcaklık kurutucuları ile kurutmada, kurutma işlemi kontrol edilmelidir. İstenilen nem dengesine gelene kadar kurutulur daha sonra ise soğutulur. Düşük sıcaklıklı kurutma sisteminde tarımsal ürünün içerisinde barındırdığı nem, kurutucu içerisindeki havanın neminin döngüsüyle sağlanır. Bu nedenle düşük sıcaklıklı kurutma sistemleri sürekli veya değişen ısının sisteme girişine toleranslıdır [1].

Güneş kurutma yöntemi, doğal ve yapay güneş kurutma olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilir. Doğal kurutma da ürün doğrudan güneşin altında kurutulurken yapay kurutmada ürün ortamdan izole edilmiş kapalı bir ortamda güneşin doğrudan etkisinden korunarak kurutulmaktadır. Yapay kurutma da kurutucu içerisinde güneş enerjisi ile ısınan havanın akışı ile ısı transferi sağlanarak ürün kurutulmaktadır. Bu kurutucularda, ürüne ısı transferi doğal taşınım veya zorlanmış taşınım ile gerçekleşmektedir. Doğal taşınım da yoğunluk farkından ısınan havanın yükselmesi ile zorlanmış taşınım da bir fan ile sağlanan basınç farkıyla ısı transfer edilir [1-5].

Güneş enerjili doğal kurutucular, güneş enerjisi dışında herhangi bir enerji kaynağına gereksinim göstermediklerinden kırsal kesimde çokça kullanılır. En yaygın doğal güneş kurutucu, sera tipi kurutuculardır. Kurutma işlemi, güneş ışığının doğrudan kurutulacak ürüne ulaşması için güneşi geçiren tozlar, zararlılar ve rüzgâr geçirmeyen şeffaf örtüler kullanılarak yapılır. Bu örtüden geçen güneş ışınları, örtü içerisinde havayı ısıtır ve bu ısı taşınarak kurutulacak ürüne ulaşır. Sera tipi kurutucuların ısı kayıpları fazla olduğundan güneş enerjili kolektörlü kurutuculara göre kurutma verimleri daha az ve kurutma süreleri de daha uzundur. Sera tipi kurutucularda örtünün altında hareket eden hava içindeki toz ve istenmeyen diğer parçacıklar örtüye temas eder. Bu istenmeyen safsızlıklar, temizlenmediğinde kurutma verimi düşer ve kurutulacak ürün kirlenir [1-3].

Güneş enerjili yapay kurutucuların farkı ısınan havanın sirkülasyonu için fan kullanılmasıdır. Kurutma kabini içerisindeki sıcak havanın ürüne temas etmesiyle üründen nem uzaklaştırılarak kurutma gerçekleşir. Sera tipi güneş kurutucusuna göre kurutma süresi daha kısa olsa da ekonomik değildir. Buna rağmen güneş enerjili doğal olmayan kurutucuların güneşte doğal kurutmaya göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bunlar, ürünün tozlanma, zararlılar, yağmur ve rüzgâr gibi çevresel etkilerden korunabilmesi, homojen kurutma, ürünün ısıl zarara maruz kalmayacağı uygun kontrol edilebileceği yüksek sıcaklığa kadar ısıtma sağlanabilmesi, besin değeri ve duyuşal özellikleri daha iyi bir kuru ürün elde edilmesi, prosesin kolay kontrol edilebilmesidir [3,5].

Gıdanın hangi güneş enerjili kurutma yöntemiyle kurutulacağı belirlenirken hava sıcaklığı ve ürünün özellikleri ile birlikte güneş kolektörünün verimi, hava nemi, rüzgâr ya da fanın varlığı ve hızı, güneş ışınım yoğunluğu gibi faktörler dikkate alınması gerekir [6].



Şekil 1. Güneş Enerjili Kurutucu

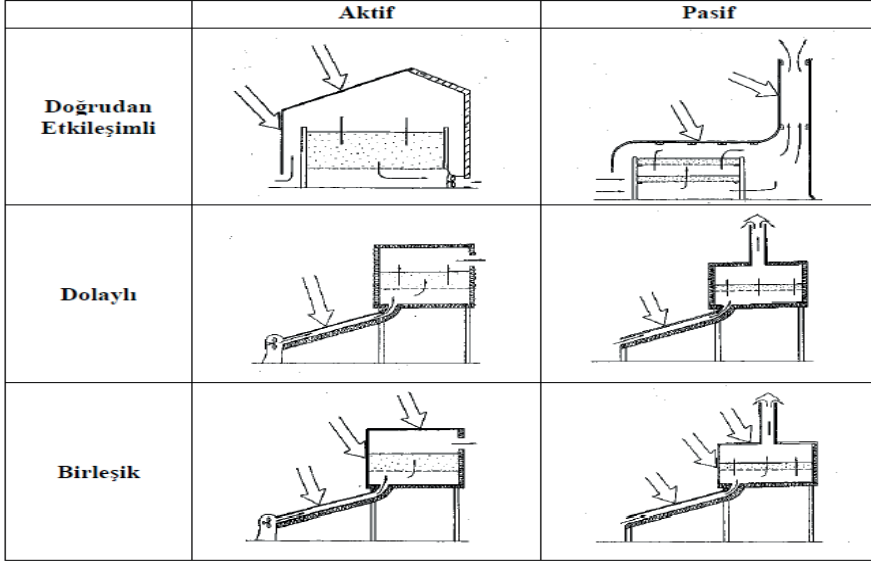
Şekil 1 den görüldüğü üzere güneş enerjili kurutucular genel olarak havayı ısıtma bölgesi (güneş kolektörü), kurutma bölgesi (kurutma odası) ve bacadan olmak üzere en az üç bölmeden oluşmaktadır. Bu kurutucular, havanın nemine, debisine ve ısı depolama ünitesinin performansına göre yüksek kurutma verimi, kolay işletilebilirlik ve yüksek ürün kalitesi sağlayabilir [5].

## 2. GÜNEŞ ENERJİLİ KURUTUCULARIN SINIFLANDIRILMASI

Güneş enerjili kurutucular güneş ışınlarının tutulmasına göre doğrudan, dolaylı ve bu ikisinin özelliklerini taşıyan kombine tip olmak üzere üç grupta sınıflandırılır. Doğrudan tip güneş kurutucularında, güneş ışınları ürün üzerine doğrudan düşürülmekte ve tutulmaktadır. Dolaylı tipli kurutucularda ise güneş ışınları, güneş kolektörün ile kurutma havasına aktarılırlar. Kombine tipte ise güneş ışınları hem kolektör tarafından tutulur hem de şeffaf örtü ile kaplı kurutma odalarında tutulur. Kombine tip kurutucular güneş enerjisinden en etkin şekilde yararlanırken doğrudan tip kurutucular da ise yatırım maliyeti sabit olduğundan daha ucuzdur. Güneş enerjili kurutucular hava hareketine bağlı olarak pasif (doğal taşınım) ve aktif (zorlanmış taşınım) kurutucular olmak üzere ikiye ayrılır. Hava hareketi, aktif kurutucularda fan ile pasif tip kurutucularda ise hava çıkışlarına kurulan bacalar ile sağlanır [6].

Doğrudan kurutucularda ürün delikli tepsilere konularak doğrudan güneş ışığına maruz bırakılır. Sera etkisiyle ısınan hava ile kurutma sağlanır. Bu tür sistemlerin kapasitelerinin düşük olması dezavantajdır. Dolaylı kurutucularda, kurutma kabini güneş ışınımına tabi tutulmaz ve yalıtım yapılarak sistemden ayrılır. Güneş kolektöründe ısıtılan hava sisteme aktarılarak kurutma yapılır. Birleşik (hibrit) tip kurutucularda ise hava güneş kolektörü ile ısıtılır

ve kurutucu kabin güneş altında tutularak kurutma işlemi gerçekleştirilir [5-6, 8-12].



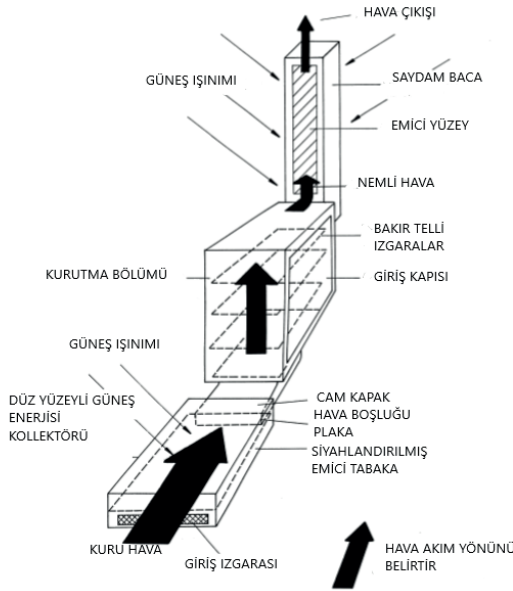
Şekil 2. Aktif ve Pasif Kurutucular

## 2.1. Doğrudan Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Doğrudan tip güneş enerjili kurutucularda tarım ürünlerinin kurutma bölümündeki duvarlar saydam olduğundan güneş ışınları doğrudan ürüne etki eder. Güneş enerjisi doğrudan ürüne etki ettiği için ürünlerdeki nem buharlaşarak havanın bağıl nemi düşer hava daha çok nem taşır [1]. Doğrudan tip güneş enerjili kurutucular kanal ve kolektör olmadığından dolaylı tip güneş enerjili kurutuculara göre basit ve ucuzdur. Ancak kurutma havası sıcaklığı kontrol edilemediği için fazla ısınma gerçekleşebilir ve üründe ısıl bozulma zararları olabilir. Bu tür kurutucularda güneş ışınının doğrudan ürüne etki etmesinden dolayı termal radyasyonun sebep olduğu oksidasyon reaksiyonlarının ürünlerde istenmeyen vitamin kaybı, enzim bozulması ve istenmeyen renk değişimlerini hızlandırır [6]. Bu sorunları elimine etmek amacıyla eğik bir yüzeyle solar radyasyonu alan kurutucular geliştirilmiştir. Ayrıca dolaylı tip güneş enerjili kurutuculara göre kurutma süresi daha fazladır. Ancak baca sistemi ile kurutma süresi azaltılabilir. Doğrudan tip güneş enerjili kurutucular, kabin kurutucular ve sera tipi kurutucular olarak gruplandırılır [11-12].

## 2.2. Dolaylı Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Dolaylı tip kurutucularda güneş ışınları direkt güneş ışığına maruz kalmadığı için kurutulacak ürünün besin değerlerinde kayıp olmaz ve renklerinde önemli bir değişim yaşanmaz. Ayrıca dolaylı güneş enerjisi destekli kurutucularda kurutma koşulları kontrol edilebilir, daha verimli, daha kalın ürünlerin kurutulmasına imkan tanımakta ve ışığın neden olduğu zararlar önlenmektedir [6]. Doğrudan tip güneş enerjili kurutuculara göre kurulum ve bakım maliyeti yüksektir. Dolaylı tip güneş enerjili kurutucular kurutma odası, kolektör, izolasyon kanalları ve baca kısımlarından meydana gelir. Kurutucu odasında kurutulacak ürünün yerleştirildiği raf ya da raflar bulunur. Kurutucunun arka tarafında rafların yerleştirilebilmesi için bir kapak bulunmaktadır. Kurutucu da kurutma işlemi için gereken sıcak hava, güneş kolektörü ile sağlanmaktadır. Güneş kolektörü yüzeyine gelen güneş ışınları kolektörün alt girişinden kurutucuya alınan havayı ısıtır ve ısı doğal konveksiyonla kurutma odasındaki havaya aktarılır. Isınan hava raflardaki ürün ile temas ederek ürünlerdeki nem uzaklaşır ve nemli hava çıkış bacasından dışarı atılır [11-12].



Şekil 3. Dolaylı Tip Güneş Enerjili Kurutucu

## 2.3. Hibrit Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Hem doğrudan hem de dolaylı şekilde güneş enerjisinden yararlanan kurutucular hibrit (karışık) tip güneş enerjili kurutucular olarak adlandırılmaktadır [6]. Bu kurutucular genellikle doğrudan tip solar kurutuculardır, ancak yardımcı bir enerji kaynağı ile desteklenirler, böylece güneş ışığının

az olduğu saatlerde ve bulutlu havalarda gıda malzemelerini kesintisiz olarak kurutmak için enerji desteğinden yararlanılabilir. Bu genellikle daha iyi ürün kalitesi ile sonuçlanır. Kurutucu bir güneş kolektörü, reflektör, ısı eşanjörü, ısı depolama ünitesi ve bir kurutma odasından oluşur. Kurutma odası kolektörün altına yerleştirilmiştir. Kurutucu normal güneşli günlerde solar kurutucu olarak, bulutlu günlerde ise hibrit solar kurutucu olarak çalıştırılır. Kurutma işlemi ayrıca gündüz toplanan depolanmış ısı enerjisi kullanılarak ve su tankında bulunan elektrikli ısıtıcılarla gece de gerçekleştirilir. Güneş enerjili kurutucunun verimliliği, kurutma havasının yaklaşık %65'inin güneş enerjili kurutucuda geri dönüştürülmesiyle artırılmaktadır. Orta Avrupa yaz koşullarında, hava sıcaklığını ortam sıcaklığının 30-40 °C üzerine çıkarabilir [13].

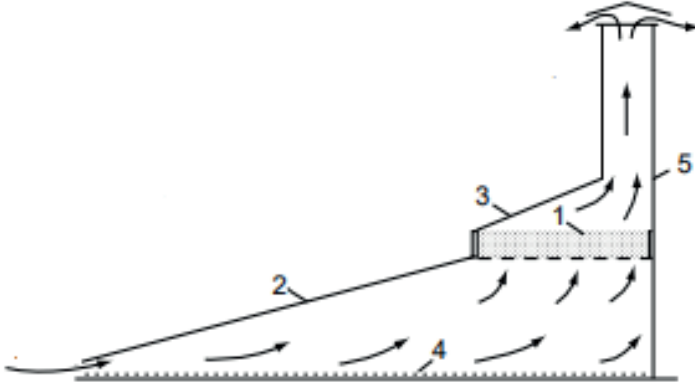
### 3. Pasif Güneş Kurutucular

Pasif tipli kurutucularda ısı yalnızca güneş enerjisinden sağlanır ve sıcaklık kontrolü yapılmaz. Bu kurutucuların pasif olarak adlandırılmasının sebebi bu sistemlerde fan kullanılmamasından dolayıdır. Pasif kurutucular, doğal konvektif kurutucular olarak adlandırılırlar. Genellikle kırsal kesimde tarla içinde kullanıma uygundur. Pasif kurutucular doğal kurutuculara göre daha avantajlıdır. Bu kurutucular doğal kurutmaya göre ani iklim değişikliklerine, doğal afet, çevre kirliliği ve hayvanlara karşı daha korunaklıdır, kolay imal edilebilir, kurulum ve bakım maliyeti düşüktür, daha az yer kaplar, kaliteli ürün verir ve kurutma süresi daha kısadır. Bu tip kurutuculara; güneş kabinleri, çadır, sera ve baca tipi kurutucular örnek olarak verilebilirler. Doğrudan (çadır ve kutu kurutucular), dolaylı (kabin kurutucuları) ve kombine türde olabilirler [6, 9-12].

#### 3.1. Pasif Doğrudan Tip Kurutucular

Bu kurutucular az miktarda ürün kurutmak için kullanılır. Tek veya çift camlı yalıtılmış tabanları vardır. Güneş ışınları üst bölgeden alınır ve iç kısımlarda ürün tarafından emilir. Üst bölgeden nemli sıcak hava çıkar alt kısımdan taze hava girerek hava dolaşımı gerçekleşir. Şekil 4 de, tek bacalı doğrudan güneş enerjili kurutucu verilmiştir. Ahşaptan yapılmış bu kurutucu ile alt kısımdan hava girişi ve uzun bir bacası ile hava çıkışı sağlanmış olup, açık havada kurutmaya göre yaklaşık 5 kat daha hızlı kuruma sağlanır. Kurutucunun sıcaklığı 80 °C kadar ulaşabilmektedir [1]. Pasif doğrudan kurutucuların çadır ve kutu tipi kurutucu çeşitleri vardır. Yaygın olarak kurutmada kullanılan pasif doğrudan kurutucular, çadır ve kutu tipi kurutuculardır [6, 11].

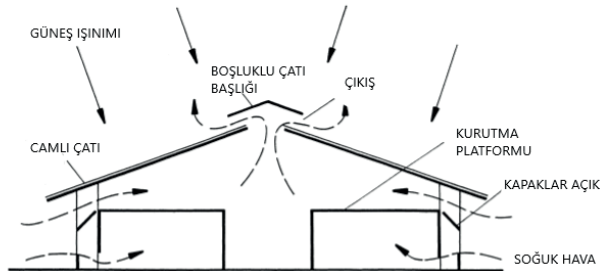
Şekil 5 de bacalı doğrudan güneş enerjili kurutucu verilmiştir. Kurutulacak büyük miktarda ürün için kurutucudan geçen hava akış hızı artırılmaktadır. Ürün, sabit bir yatak içerisinde 1 noktasına yerleştirilir. 2 noktasındaki kolektör plastik bir kapaktan oluşmaktadır. Katman üzerindeki ön yüzey 3 de şeffaftır. 5 noktasındaki baca duvarı siyah plastik folyodan yapılmıştır. Kurutucunun çerçevesi ahşap ve teldir; üretim ucuzdur ve basittir [14].



Şekil 4. Bacalı Doğrudan Güneş Enerjili Kurutucu

### 3.2. Pasif Çadır Tipi Kurutucular

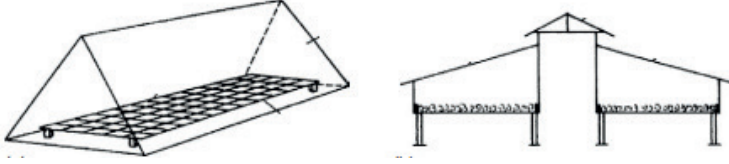
Çadır kurutucular, sera tipi kurutucular olarak da adlandırılır. Ucuz ve basit kurutuculardır. Çadır tipi kurutucularda kolektör ile kurutma deposu bir arada bulunmaktadır. Kullanılan çadırın amacı kurutulacak gıdayı yağmur, rüzgar gibi dış etkenlerden korumaktır. Tahta direklere plastik bir örtü ile kaplanarak oluşturulur. Kurutulacak olan gıdalar yerden belirli bir yüksekliğe ayaklı tepsilere yerleştirilir. Çadır kurutucular, modülerdir, monte edilmesi, sökülmesi veya taşınması kolaydır. Ancak kuvvetli rüzgârlarda kolayca zarar görebilir [6, 10]. Şekil 5 de verilen cam çatılı güneş enerjili kurutucunun iç yüzeyi siyah boyalı olup, ürünün yerleştirildiği ortamın alt ve üst bölgelerinin duvarları atmosfere açıktır. Örtünün açıklıklarından giren hava ısınarak genişler, taşınır ve üründeki nemi alır. Camlı çatı güneş ışınlarını geçirirken ürünü yağışlardan ve çevre etkilerinden koruyarak nemli havanın çıkışını sağlar [8, 11-12].



Şekil 5. Cam Çatılı Güneş Enerjili Kurutucu

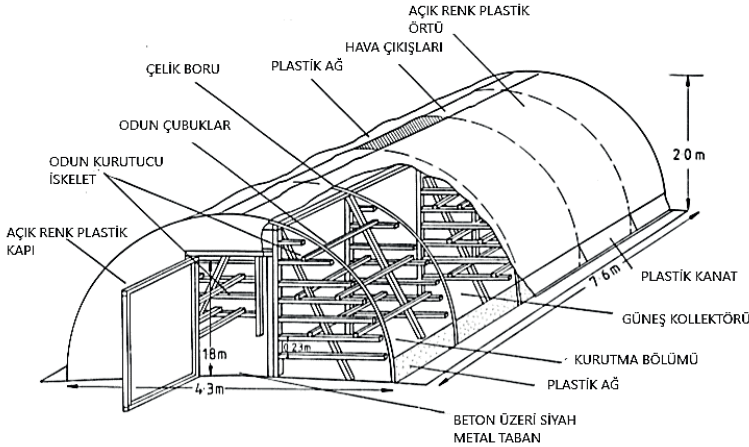


Şekil 6'da verilen çadır tipi sera kurutucu cam çatılı güneş enerjili kurutuculara göre daha basittir [14]. En önemli özelliklerinden biri kurutma odası ile güneş ışınlarını toplayan plakanın aynı yerde olmasından dolayı ekonomik olmasıdır. Çadır tip güneş enerjili kurutucular, ince tabaka ile çerçevelenmiş üçgen ahşap bir iskeletten oluşup, güneşe maruz kalan kısımlar açık polietilen plastik şeffaf bir örtü ile kapatılmıştır. Plastikle kaplanan iskeletin alt bölgesinden hava girişi ve üst bölgeden hava çıkışı olmaktadır [6, 11-12, 14].



Şekil 6. Doğal Dolaşimli Çadır Kurutucu

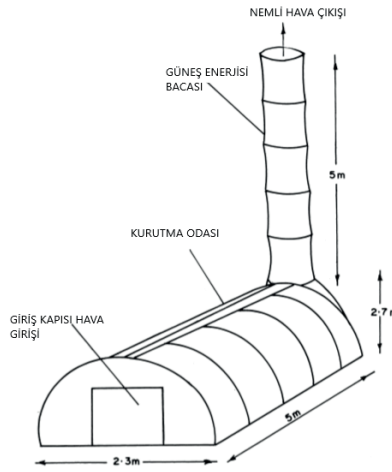
Şekil 7 de metal iskeletli kubbe tipi sera kurutucu gösterilmiştir. Tabanında güneş ışınlarını emen siyah renkli metal bir tabaka bulunmaktadır. Çadırın her iki tarafından hava girişi, kubbenin üst bölgelerinden ise hava çıkışı bulunmaktadır. Giriş ve çıkışlar plastik ağlarla hayvanlara karşı koruma altına alınmıştır. Kurutma kapasiteleri daha fazladır [11].



Şekil 7. Doğal Dolaşimli Kubbe Tip Sera Kurutucu

Kurutulacak ürün miktarı fazla olduğunda çadır tip yerine sera tip güneş enerjili kurutucu tercih edilmektedirler. Şekil 8 de doğal dolaşimli sera tipi

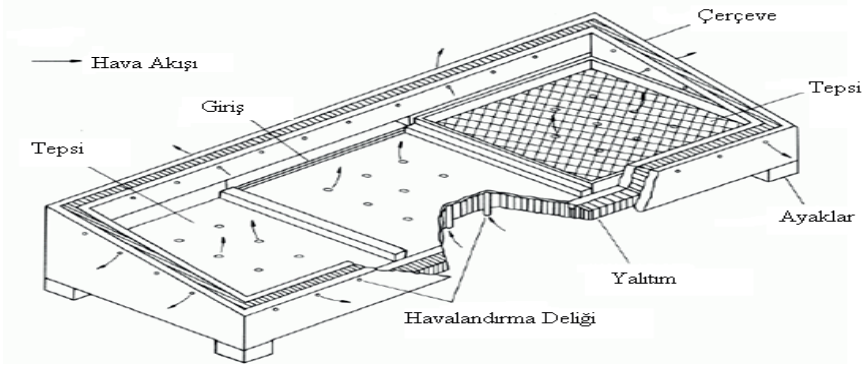
güneş enerjili kurutucu gösterilmiştir. Bir tarafında silindirik baca diğer tarafında hava ve ürün girişinin bulunduğu bir kapı bulunmaktadır. Seraların dış örtüsü UV ışınlarına dayanıklı malzemedir yapılmıştır. İskelet çelikten yapılmış, baca ve oda şeffaf bir polietilen ile kaplanmıştır. Gelen güneş enerjisini daha iyi tutması için taban siyaha boyanmaktadır. Işığa karşı hassas bileşenler içeren ürünlerde güneş ışınlarının doğrudan ürünlerin üstüne temasını engellemek için ürünlerin üstüne siyah bir örtü serilmektedir. Sera içerisinde hava akışını sağlamak için, seranın kenarlarında ve tabanında, dış ortamın havasının girişi için delikler açılmakta ancak bu açıklıklardan herhangi istenmeyen yabancı madde vb. girmemesi için ağ ile kapatılmaktadır [1, 6, 11]. Sera tipi kurutucuların kötü hava koşullarında zarar oluşturma tehlikesi bir dezavantaj olarak görülmektedir [1, 11].



Şekil 8. Sera Tipi Doğal Dolaşimli Kurutucu

### 3.3. Pasif Kutu Tipi Güneş Kurutucuları

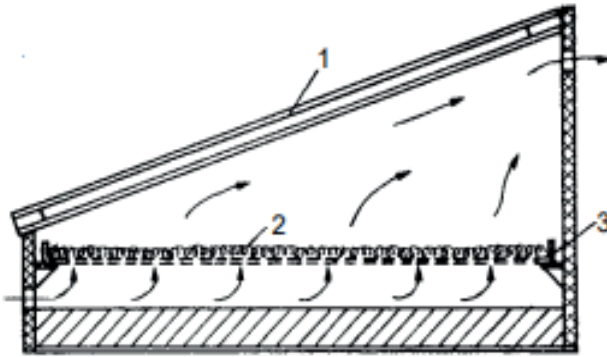
Kutu ya da kabin tipi güneş kurutucuları, küçük ölçekli gıda kurutma işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Kabin tipi kurutucular belirli bir eğimle kapanan bir kapak, kaplama malzemesi olarak tek veya iki kat saydam örtü, yalıtılmış yan yüzeyler ve taban ile ahşap veya metal sacdan oluşan yandan görünüşü yamuk şeklinde olan basit yapılu kurutuculardır. Kurutucunun iç yüzeyleri gelen güneş enerjisini daha iyi tutmak için siyaha boyanmaktadır. Ürün kurutucu zemin üzerinde bulunan ağ şeklindeki tepsi üzerindedir. Havalandırma amaçlı tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılmaktadır. Hava, ön deliklerden odaya girer ve arka duvarın üst kısmındaki havalandırma deliklerinden çıkar. Çadır tip kurutuculara göre daha yüksek sıcaklıklar elde edildiği için daha kısa sürede kurutma sağlanır [6, 10-11].



Şekil 9. Kutu Tipi Kurutucu

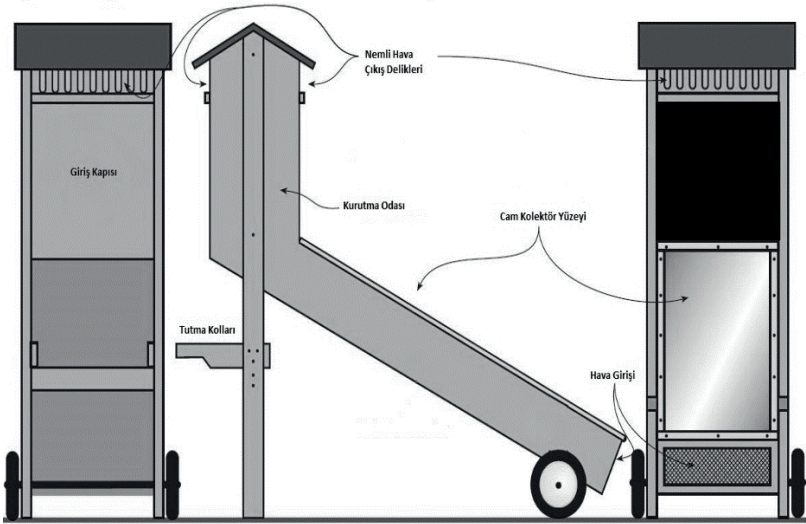
### 3.4. Pasif Kabin Tipi Güneş Kurutucular

En basit solar kurutucular kabin kurutuculardır (Şekil 10). Güneşin geliş açısına göre bir eğimle kapanan bir kapak bulunmaktadır. Bunların ana özelliği ısının kurutma için gerekli ısı, doğrudan güneş ışınımı yoluyla ve güneşe bakan tek veya çift kat şeffaf (cam veya folyo) örtüden Şekil 10 gösterildiği gibi 1 noktasından girer. Yan yüzeyleri ve tabanı yalıtım maddeleri ile kaplanmış, ahşap veya metal saçtan yapılan, yan görünüşü yamuk şeklinde olan bir kabinden oluşur. Kurutulacak ürünü gösteren 2 noktası 3 noktası ile gösterilen bir tepsi üzerine ince bir tabaka halinde yayılır. Alt plakası tepsi delikli dir. Hava deliklerden malzeme boyunca doğal konveksiyon ile taşınır ve son olarak kabinin üst kısmından ayrılır. Bu kurutucunun tasarımı basittir ve maliyeti düşüktür. Bu kurutucular, küçük miktarlarda (10-20 kg) granül malzemeler kurutmak için uygundur. Bu kabin tipi kurutucularda kurutulan ürünler çoğunlukla tarımsal ürünlerdir-sebzeler, meyveler, baharatlar ve otlardır. Kabin tipi kurutucular, en basit kurutuculardır [14].



Şekil 10. Kabin Tipi Kurutucu

Şekil 11’de raflı güneş enerjili kurutucu verilmiştir [15]. Kurutucunun iç kısmına tepsileri (raf) desteklemek için yolluklar yapılmıştır. Kabinin arka kısmında yer alan menteşeli kapı ile kurutucunun içine erişilebilir. Kurutma tepsileri, yükleme, boşaltma ve temizleme işlemleri için kutudan çıkabilecek şekilde dolap içinde bulunan raylar üzerinde kayarak hareket eder. Isınan hava, ürünlerin tamamı kuruyana kadar tepsilerden akar. Ancak, ısınan hava tepsinin altından girdiğinde ilk sıradaki tepsiyi önce kurutacaktır. Kuruması gereken son tepsi ise odanın en üst kısmında bulunandır. Ayrıca havalandırma için tabanına, ön ve arka kenarlarına delikler açılır. Bu sistemlerde kurutma yapılacak oda oldukça basit yapıdadır ayrıca yükleme boşaltma işlemleri kolay olduğu için işçilik maliyetleri oldukça azdır. Ürün Doğrudan güneş ışığına maruz kalmadığı için renk ve besin kayıpları azdır [10-11].

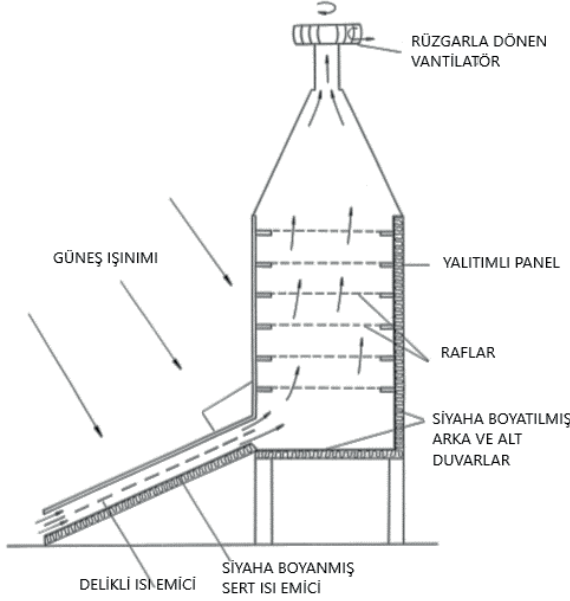


Şekil 11. Güneş Enerjili Raflı Kurutucu

### 3.5. Pasif Kombine Tip Güneş Enerjili Kurutucular

Dolaylı ve doğrudan tip doğal dolaşimli güneş enerjili kurutucuların ortak birleşimlerini barındırmaktadır. Güneş ışınları ürünün bulunduğu bölüme doğrudan ve güneşten gelen ışınları ısıtılmış hava yolunun kullanılmasıyla çalışmaktadır. Hava güneş ışınlarının toplandığı kolektörde ısınır. Kolektör, siyah renk ile boyanmış metal bir plakalardan oluşur. Hava ısıtıcı kısmın alt bölümü sert plaka veya termal yalıtım malzemesinden oluşmaktadır. Üst ve ön bölümlerinde şeffaf pencere ve baca bulunabilir. Bacadan nemli hava dışarı verilir. Aynı zamanda bacaya rüzgar enerjisiyle dönen bir aspiratör takılarak ısının taşınım hızı artırılabilir. Güneş ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanılabilirdiği şekil 12 de görüldüğü gibi hibrit kurutucular kullanılmak-

tadır [1, 11-12]. Şekilde görüldüğü gibi üst bölümden rüzgarın döndürdüğü aspiratör bulunmaktadır ve hava akışını gerçekleştiren aspiratör, rüzgarın döndürmesiyle havayı emerek güneş kolektörü sayesinde ısınan hava kurutma kısmına iletilir ve kurutma işlemi oluşur. Maliyeti düşüktür ve ısı kayıpları minimumdur [11-12].

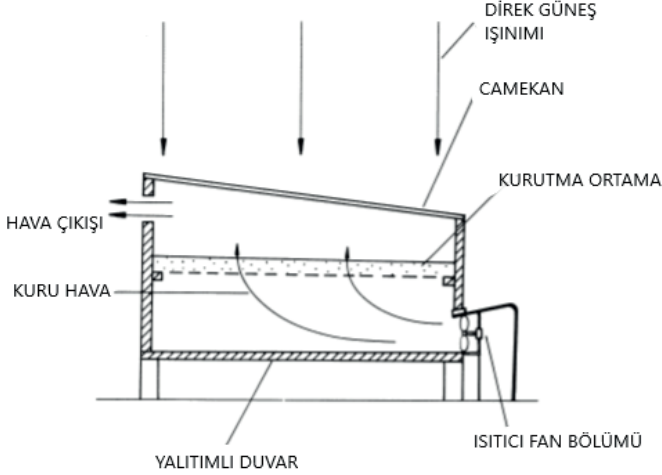


Şekil 12. Kombine Tip Rüzgarla Dönen Kurutucu

#### 4. AKTİF GÜNEŞ KURUTUCULAR

Aktif güneş kurutucuları, zorlamalı taşınım veya hibrit güneş kurutucuları olarak da adlandırılırlar. Ürünü kurutmak için kullanılan havanın kurutucu içerisinde hareketi fan ile olur. Zorlanmış taşınımlı tip kurutucuların doğal taşınımlı kurutuculara göre daha verimli, kapasitesi ve güvenilirliği daha fazla olup, kuruma işlemi süresince sıcaklık ve nem kontrol edilebilmektedir. Ayrıca kullanımı kurutma süresini üçte bir oranında azaltır ve toplayıcı için gerekli alanı %50 oranında düşürülebilir. Sonuç olarak, zorlanmış konveksiyonlu kurutucular, altı kat daha büyük bir kolektöre sahip bir doğal konveksiyon kurutucu ile aynı işlemi yapabilir. Fanlar, elektrikle ya da fotovoltaik güneş panelleri ile çalıştırılarak ekonomikliği sağlanabilir. Doğal taşınımlı tip kurutucuların neredeyse tüm çeşitleri zorlamalı konveksiyonla da çalıştırılabilir. Fan genelde kurutucunun içerisine hava ısıtıcı kısım ile kurutma odasının birbirinden ayrıldığı yere yerleştirilir. Bu sayede güneş kolektörünün tersi basınç oluşturularak fan motorunun ürettiği ısı sistemin içerisinde olması sağlanır. Hava ısıtma kısmının girişine de bağlandığı rastlanan durumlar arasındadır. Böylece bakım ve onarım işleri daha rahat bir şekilde

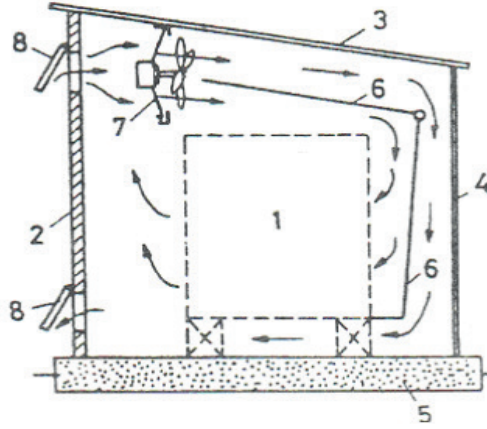
yapılabilir. Isı kaybını düşürerek verimi arttırmak için havanın tekrar dolaşımı sağlanır. Kuru hava belli bir düzeyin altında içerisinde bulundurduğu nem ile hava dolaşımı olur. Bu sayede enerji verimliliği sağlanır [11-12].



Şekil 13. Aktif Güneş Enerjili Kurutucu Kabin Özellikleri

#### 4.1. Fanlı Tip Güneş Kurutucuları

Şebeke elektriği kullanımının uygun olduğu yerlerde fanları kullanmak fotovoltaik kurulumuna göre daha ucuzdur. Fanla beraber fan hızına göre sıcaklığı ayarlayabilecek elektronik bir kontrol elemanı da şebekeye bağlanabilir [11]. Fotovoltaik ile çalışan kurutucu da fan güneş modülüne doğrudan bağlanır. Uygun bir fotovoltaik sistemi tasarımı ile sıcaklık kontrolü kolayca yapılabilir [10]. Şekil 14’de verilen fanlı tip güneş enerjili kurutucularda, kurutucu içindeki kurutma havası dolaşımı fan yardımıyla sağlanır. Böylelikle kurutma pasif kurutuculara oranla daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Hava giriş ve çıkış kesitleri damperlerle kontrol edilerek, kurutucunun ısıl etkinliği bir ölçüye kadar arttırılabilir [16]. Genellikle kurutulacak ürünün fazla olduğu durumlarda tekdüze ve hızlı kurutma sağlamak amacıyla tercih edilmektedir [17].

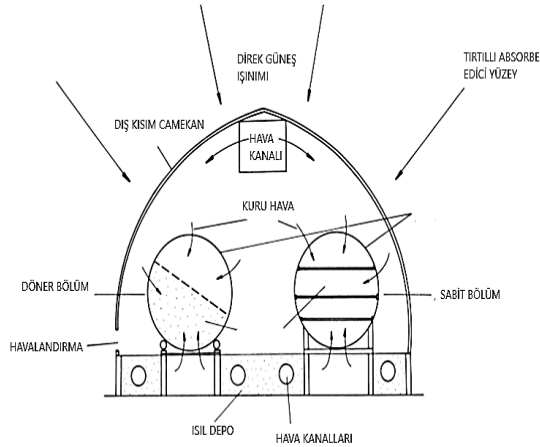


1: Ürün 2: Duvar 3-4: Işık geçiren malzeme 5: Beton kaide 6: Siyah boyalı yüzey  
7: Fan 8: Hava damperi

Şekil 14. Fanlı Tip Kurutucunun Kesiti

#### 4.2. Dahili Absorbsiyonlu Sera Tipi Kurutucular

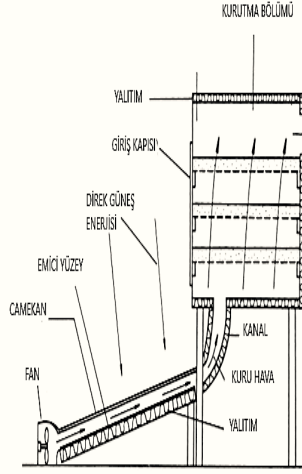
Bu kurutucularda dış bölümler saydamdır. İç bölümleri güneş enerjisini emen dış bölümleri ise güneş enerjisinin geçiren birer malzemeden oluşur. İç bölümde hem döner hem de sabit silindirik olan iki adet kurutma kısmı bulunur. Bu kısımlarda güneşten gelen enerjiyi emmesi için siyah renge boyatılmıştır [1, 11].



Şekil 15. Dahili Döner Absorbeli Sera Tipi Aktif Kurutucu

### 4.3. Dağıtılmış Tip Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

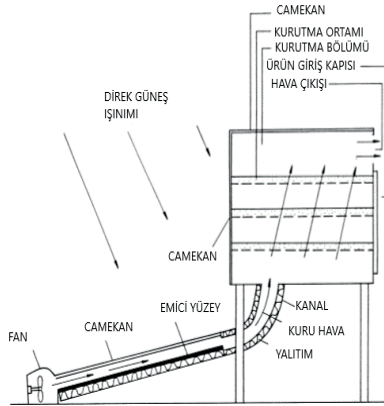
Dağıtılmış tip kurutucularda güneş kolektörü ile kurutma kısmı birbirinden ayrıdır. Kurutma bölümü, kanal, fan ve güneş enerjili hava ısıtıcısı olmak üzere dört farklı bölümü vardır [11].



Şekil 16. Dağıtılmış Tip Güneş Enerjili Kurutucu

### 4.4. Kombine Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucular

Genelde yaygın olarak kullanılmazlar. Fan, kurutma bölümü, kanallama ve güneş enerjili hava ısıtıcı bölümleri barındırır. Enerji verimini arttırmak için aktif enerjili kurutucularda ısı toplayıcı kısımlar bulundurulur. Bu sayede güneş enerjisinin olmadığı yani geceleri kurutma işlemine ara verilmez [10].



Şekil 17. Kombine Tip Aktif Güneş Enerjili Kurutucu



## SONUÇ

Güneş enerjili kurutucular tarım sektöründe, kırsal bölgelerde, doğal hayatta ve çiftçilere büyük oranda faydası bulunmaktadır. Pazar payının artması ile ekonomiyi etkilediği ve sosyal ihtiyaçları karşılamaktadır. Enerji maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda güneş enerjili kurutucular ekonomiktir. Tarım sektöründe ve tarımsal bölgelerde güneş enerjili kurutucu gelişiminin üstün özellikleri değerlendirilmelidir. Kırsal kesimde tarım ürünlerinin tarlalara kurulacak düşük maliyetli güneş enerjili kurutucuları kullanması ile ekonomik fayda sağlanabilir. Ürün kalitesinin artması ve üretim maliyeti düşmesi tarımsal ürünlerde rekabetin arttırır. Diğer konvansiyonel kurutuculardaki gibi kurutma havasının ısıtılması için yakıt veya elektrik kullanılmadığından çevreye zarar verilmez. Uygun şekilde tasarlandığında güneş enerjili kurutucular doğal kurutuculara göre daha verimli ve kontrol edilebilir. Güneş enerjili kurutucuların gelişmesi düzenli ve sürekli büyüme için beraberinde pek çok ekonomik, sosyal ve çevresel yarar getirmektedir. İhraç edilen kuru ürünlerin katma değeri taze ürünlerden daha yüksek olduğundan ülke ekonomisine katkıları küçümsenmeyecek kadar önemlidir. Tarım, gıda ve ziraat sektörlerinde güneş enerjili kurutucuların kullanımında devlet teşviki olması bu kurutucuların yaygınlaşmasını sağlayabilir. Güneşlenme süresi ve güneş ışınım şiddeti yüksek olan tarımsal faaliyetlerinin en fazla olduğu Akdeniz bölgesi için özellikle güneş enerjili kurutucuların kullanılması ekonomik, ekolojik ve hijyenik kuru ürün elde edilmesi için yatırımların yapılabileceği en uygun bir bölgedir.

## KAYNAKÇA

1. Ekechukwu, O. V., & Norton, B. (1999). Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology. *Energy conversion and management*, 40(6), 615-655.
2. Öztürk, H. 2008. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Kullanımı. Teknik Yayınevi Mühendislik, Mimarlık Yayınları, Ankara. ISBN 9789755230429.
3. Gökayaz, L., & Yıldız, Z. (2017). Gıda Ürünlerinin Kurutulmasında Güneş Enerjili Kurutucuların Kullanımı. 2. Uluslararası Akdeniz Bilim ve Mühendislik Kongresi, Adana, 25-27.
4. Ekechukwu, O. V. (1999). Review of solar-energy drying systems I: an overview of drying principles and theory. *Energy conversion and management*, 40(6), 593-613.
5. Ertekin, C. , Yaldız, O. (1999). Gelişen Ülkelerde Tarımsal Ürünlerin Kurutulmasında Güneş Enerjisi Kullanmanın Rolü, Güneş Enerjisi Enstitüsü Dergisi, 3(1)
6. Top, V., Tontul, İ., & Türker, S. (2019). Use of solar energy assisted drying methods in the food industry. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(8), 1100-1112.
7. Sharma, A., Chen, C. R., & Lan, N. V. (2009). Solar-energy drying systems: A review. *Renewable and sustainable energy reviews*, 13(6-7), 1185-1210.
8. Özek, N. , Üçgül, İ. , Fişek. , (1997). Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri ve Isıl Analizler, Çevre Enerji Kongresi Antalya Sempozyumu 14-15 Nisan 1997, MMO Yayınları Yaygın No:191.
9. Intermediate Technology Development Groupe, [www.itg.org/solar\\_drying.pdf](http://www.itg.org/solar_drying.pdf)  
[http://home.planet.nl/~worldsolareconomy/homo.html#solar\\_drying](http://home.planet.nl/~worldsolareconomy/homo.html#solar_drying), Erişim Tarihi: 01.10.2023
10. Tarhan, S., Ergüneş, G., & Tekelioğlu, O. (2007). Tarımsal ürünler için güneş enerjili kurutucuların tasarım ve işletme esasları. *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 99, 26-32.
11. Güngör, A. ve Özbalta N. (2019). Güneş enerjili kurutma teknolojileri ve uygulamalarda gelişmeler. *Makine Mühendisleri Odası Bildirisi*
12. Çay, V. V., Koçyiğit, F., Akyüz, M.K., Koçyiğit, Ş. (2017). Güneş enerjisi destekli kurutma sistemleri ve tarımda kullanımı. *International Engineering Conference (IEC2017)*, Ekim 2017
13. Lokesh, R. D., Vipin, B. H., & Jibhkate, Y. M. (2015). Solar dryers for drying agricultural products. *Proceedings of 4th International Conference On Quality Up-gradation in Engineering, Science & Technology (ICQUEST\_2015)*. Organized by Bapurao Deshmukh College of Engineering, Sevagram, Wardha – 442 102, Maharashtra, India; 11th April.,2015.
14. *Handbook of Industrial Drying* (2006). Taylor & Francis Group, LLC.

15. Gökayaz, L. (2019). Çok Rafı Güneş Enerjili Kurutucu ile Elma Kurutma Koşullarının Optimizasyonu, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı
16. Atalay, Ö. (2010). Güneş enerjisi destekli nem almalı ısı pompalı kurutucunun tasarımı ve termodinamik analizi. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
17. Top, V., Tontul, İ., & Türker, S. (2019). Use of solar energy assisted drying methods in the food industry. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 7(8), 1100-1112.



# BÖLÜM 7

## DOĞAL TAŞ İHRACATI

*Didem EREN SARICI<sup>1</sup>*  
*Melike YAMACI ÜNSAL<sup>2</sup>*



<sup>1</sup> Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, didem.sarici@inonu.edu.tr, ORCID:0000-0003-2639-5226

<sup>2</sup> Maden Yük. Müh., İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, mlkymc@hotmail.com, ORCID:0000-0002-8526-5686

## 1. GİRİŞ

Gelişmiş ülkelerin ortak özelliği güçlü bir ekonomik sisteme sahip olmalarıdır. Güçlü bir ekonomiye sahip olmak ise zengin doğal kaynaklara sahip olmak ve bu kaynakları etkili ve verimli şekilde değerlendirebilmeyi sağlamakla mümkün olabilmektedir. Bunun nedeni ise hammadde girdisinin üretim faktörleri içerisinde göz ardı edilemeyecek rolüdür. Geçmişten günümüze kadar gelen tüm ekonomistler hammadde, nitelikli işgücü ve sermayenin üretim faktörleri arasında temel olduğunu ifade etmektedirler. Bu noktadan hareketle zengin doğal kaynaklara sahip olan ülkeler bu üstünlüklerini iyi değerlendirebilmeyi başardıkları takdirde ekonomik anlamda gelişim göstermede diğer ülkelere göre daha başarılı ve rekabetçi olabileceklerdir. Doğal kaynaklarına yeterince sahip çıkmayan ve doğru değerlendiremeyen ülkelerde sanayileşme oluşmaz ve yarışa başlamadan mağlup olurlar. Her ülke ekonomisinin kalkınmasında büyük rol oynayan madencilik sektörü şüphesiz ki Türkiye için de büyük önem arz etmektedir. Yer altı kaynaklarımız hem yurtiçi kullanımı hem de ihracatı bakımından ülkemize ciddi getiriler sağlamaktadır. Dünya üzerinde zengin doğaltaş oluşumlarının bulunduğu Alp Kuşağı'nda bulunan ülkemizin tespit edilen yaklaşık 5,3 milyar m<sup>3</sup> doğaltaş rezervi vardır. Söz konusu bu rezerv ile dünya doğaltaş rezervinin %40'ına sahip durumdadır (Öztürk, 2018).

Mermer jeolojik ve ticari olarak iki türde tanımlaması yapılabilen bir endüstriyel hammaddedir. Jeolojik anlamda kireçtaşı ve dolomit gibi kayaların ısı ve basınç altında yeniden kristallenerek (metamorfizmaya uğrayarak) tekrardan kristalleşip yeni bir yapı kazanmaları ile meydana gelen kayalardır. Bu tanım kapsamına sadece metamorfik kökenli kayalar girerken ticari anlamda mermer, levha ve blok verebilen, alımı satımı yapılabilen her türlü kayaç olarak bilinmektedir. Ticari anlamda mermer tanımı daha kapsamlı ve geniştir. Mermerlerin jeolojik tanımlarına uygun oluşumlara “gerçek mermerler” denilmektedir. Bu mermerlerde kayacı oluşturan kalsit kristalleri gözle görülebilecek büyüklüğe ulaşmış, genelde çok ince mikrokristalin dokulu olanlar birkaç millimetre büyüklüğe erişmiştir. Bu mermerler bünyelerinde %95-98 oranında CaCO<sub>3</sub> bulundurlar.

Renkleri ise genellikle beyazdır ve bünyelerine giren az miktardaki yabancı maddelerin etkisi ile renklenmeler gösterebilirler. Ülkemizde üretimi yapılan bu tür mermerler genelde Afyon, Balıkesir, Bursa, Uşak, Denizli, Muğla, Aydın, Gaziantep bölgelerinde bulunmakta ve üretimleri yapılmaktadır. Ticari tanımlama ise daha geniş bir yelpazeyi işaret etmektedir. Bu tanımlama içerisinde kireçtaşı, traverten gibi sedimanter, gnays, mermer, kuvarsit gibi metamorfik, granit, siyenit, serpantin andezit, bazalt gibi magmatik kökenli kayalar girmektedir (Öztürk, 2018). Şekil 1'de MTA tarafından verilen mermer yatakları haritası yer almaktadır.



Şekil 1. Mermer yatakları haritası ([www.mta.gov.tr](http://www.mta.gov.tr))

Doğal taş sektörü yüksek ihracat potansiyelinin yanısıra iç piyasa tüketimi, doğal taş üretim ve işleme makineleri üretimi ve ihracatı ile de Türkiye ekonomisine büyük katkılar sağlamaktadır. Özellikle son yıllarda üretim için kullanılan eski ve klasik yöntemlerin yerini yeni ve modern üretim yöntemlerine bırakması ile nitelikli işgücü ve ileri teknolojik üretim yöntemlerinin kullanıma başlanması ayrıca bütünleşmiş üretim yapabilen büyük firmaların devreye girmesine bağlı olarak mermer üretiminde büyük artışlar meydana gelmiştir. Bu yatırımların sektöre girişi ve sayılarının artışı ülkemizin doğal taş pazarında hammadde tedarikçisi kimliğinin yanı sıra işlenmiş ürün hazırlayıp satabilen ülkeler arasındaki yerini de yükseltmektedir. Türkiye 11,5 milyon ton civarında yıllık doğal taş üretimi ve işleme tesislerinin toplam üretim kapasitesi 6,5 milyon m<sup>2</sup> olduğu sektörde öncü bir ülke konumundadır.

## 2. DOĞAL TAŞLARIN TİCARİ AYRIMLANMASI

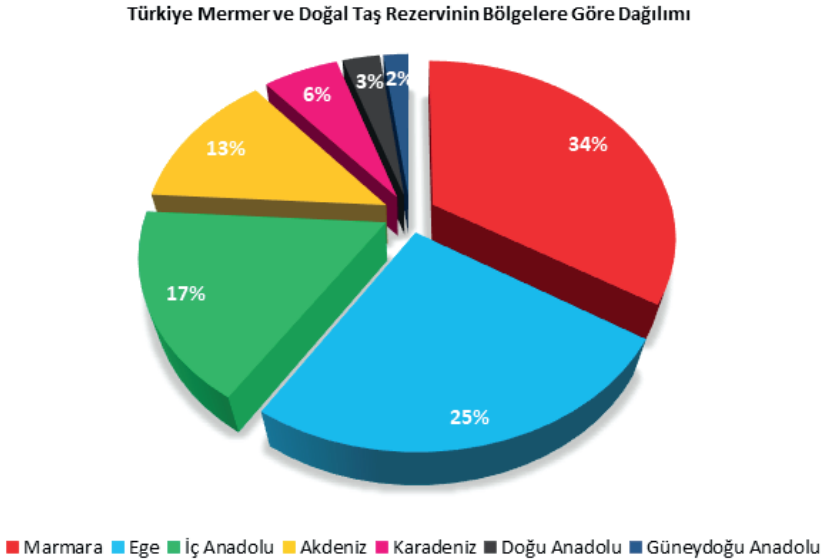
Doğal taşların ticari olarak sınıflandırması iki kategoride yapılmaktadır. Birinci grubu dolomit, mermer, metamorfik şist, traverten, oniks gibi karbonat bileşimli olan karbonatlı (kalkerli) taşlar grubu, diğerini de granit, gnays, bazalt, trakit, andezit, riolit gibi silis bileşimli olan silisli taşlar grubu oluşturur. Karbonat grubu taşlar tüm doğal taş sektörünün %55'lik bölümünü temsil etmektedirler.

İşlenmiş doğal taş ürünlerinin başlıca ihracatçı ülkelerinden olan Çin bu alanda %35'lik bir paya sahiptir. Granit pazarında ise bu oran %50'ye yakındır. Hint granitlerinin yaklaşık %70 ni işletmekte olan Çin işlenmiş doğla taş ihracatında yaklaşık %48'lik bir paya sahiptir. Ürettiği yüksek katma değerli ürünler ile %13'lük paya sahip olan İtalyadan sonra işlenmiş doğal taşda miktar olarak %19 ancak ciro olarak %10'luk paya sahip olan Türkiye gelmektedir. 2010-2020 yılları arasında küresel doğaltaş kullanım miktarı 1,5 kat artmış ve bu artış devam etmektedir. İşlenmiş doğla taşda önemli tüketim pazarları

%33'lük pay ile Çin, % 8 ile Hindistan, %6 ile ABD, %2 ile Suudi Arabistan ve Almanya şeklinde sıralanabilir (Yener, 2022). Türkiye, mermer ve doğal taş ihracatçısı ülkeler arasında mermer ihracatının toplam ülke ihracat oranına göre ilk sırada yer alan ancak ihracat birim fiyatı açısından değerlendirildiğinde son sırada kalan bir ülkedir. Dünya genelinde mermer ve doğal taş üretimi yapıp ihraç eden ülkelerin ihracat birim fiyatlarına bakıldığında diğer maden üreticilerinin aksine doğal taş ürünlerinin fiyat skalalarının çok farklı olduğunu görebilmekteyiz. Bu durumun ürünlerin farklı renk ve desen özelliğine sahip olmaları ve albenilerinin sıklıkla değişmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Uluslararası doğal taş ihracat arenasında doğal taş ürünleri fiyatlandırmasında ülkeler arası fiyat düzeyi farklılaşmasının bir göstergesi satın alma gücü paritesidir. Mermerlerin fiyatlandırması yapılırken özellikle renk ve desen farklılıkları ve bu farklılıkların tercih edilmesi durumu ön planda tutulmaktadır. Bu nedenle mermerlerin pazarlanmasında birim fiyat değişim ve dalgalanmaları titizlikle takip edilmelidir (Çetin, 2021).

### 2.1. Türkiye Doğal Taş Sektörü

Ülkemiz zengin doğal taş çeşitliliği ve rezervi, sektörde sahip olduğu deneyimler ve dinamik bir sektör yapısına sahip oluşu, üretim bolluğu ve nakliye koşullarındaki deneyimleri nedeniyle doğal taş sektöründe Dünyada söz sahibi ülkeler arasındadır. Nitelikleri ile Dünya doğal taş pazarlarında beğeni kazanan Türkiye'de rezervler Anadolu ve Trakya boyunca geniş bölgelere yayılmış durumdadır. Sözkonusu bu rezervlerin ülkemiz bölgelerine göre dağılımları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Türkiye Mermer Rezervlerinin Coğrafi Bölgeleri Temelinde Dağılımı  
([www.enerji.gov.tr](http://www.enerji.gov.tr))



Ülkemizde üretimi gerçekleştirilen ve Dünya doğal taş pazarında yer edinmiş olan mermerler; Süpren, Milas Leylak, Elazığ Vişne, Akşehir Siyah, Manyas Beyaz, Bilecik Bej, Kaplan Postu, Denizli traverten, Ege Bordo, Gemlik Diyabaz, Afyon Şeker ticari isimleriyle satışa sunulmaktadır.

Üretimi ve ihracatı gerçekleştirilen bu mermerlerin Dünya'nın tanınmış mekanlarında kullanım örnekleri de mevcuttur. Örneğin; Elazığ Vişne mermeri ABD'de Beyaz Sarayda basın açıklaması yapılan salonda kullanılmış, Afyon İsehisar mermerleri Vatikanda bulunan Saint Pierre kilisesinin girişinde yer alan sütunlarda kaplama malzemesi olarak uygulanmış, Dünyanın ünlü eğlence merkezlerinden biri olan Disneyland'da 18 bin metrekare Türk mermeri uygulaması yapılmıştır ( Akçadağ bölgesinde üretilen mermerlerin dış cephe uygulaması Şekil 3'de, iç cephe uygulaması Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Malatya Akçadağ mermeri kullanılan Shenzhen Museum projesi genel görünüm

Doğal taşlar grubunda yer alan granitik kayalar mermerlerden sonra gelen ve üretimi gerçekleştirilen önemli bir türdür. Asidik bileşimli ve plütonik bir kayaç türü olan granitler grinin çeşitli tonlarına sahip olan genelde yer kaplaması ve dış cephe kaplamacılığında uygulanan doğal taş grubundandır. İşlenmeleri mermerlere nazaran biraz daha zor ancak daha dayanımlı bir yapıda olan bu kayaç grubu, aynı zamanda figür işlemeciliğinde de kullanılmaktadır. Kazandığı parlak görünümünü uzun süre muhafaza edebilmesi ve dayanıklılığı nedeniyle hem ülkemizde hem de yabancı ülkelerde kullanımı geniş yelpazelerde yapılabilmektedir ([www.ticaret.gov.tr](http://www.ticaret.gov.tr)).



Şekil 4. Malatya Akçadağ mermeri kullanılan Shenzhen Museum projesi iç görünüm

### 3. DOĞALTAŞ İHRACATI NASIL YAPILIR?

Türkiye, büyük rezerve sahip olduğu doğaltaşları üreterek bunu ekonomik kalkınmaya katkı sağlayacak biçimde değere çevirme konusunda son yıllarda yaptığı girişimlerle Dünyada oldukça önemli bir yer edinmiştir. Mermer sektörü, ülkelerin kalkınmasında rol oynayan en önemli sektörlerden birisidir ve doğal taş sektörünün hızla gelişim gösteren kolu konumundadır. İhracat rakamları mermerin, ülkemizin lokomotif sektörlerinden biri olma yolunda hızla ilerlediğinin göstergesi niteliğindedir (Hacımustafaoğlu ve Elçi, 2018). Blok mermerin ihracatındaki basamakları Şekil 5’de ki gibi ifade edebiliriz.



Şekil 5. Blok mermer ihracat işlem basamakları

#### 3.1. Pazarlama ve Satış

Ocak veya fabrika üretimi sonucunda üretilen taşın pazarlaması oldukça hassas bir konudur. Her sektörde olduğu gibi pazarlama faaliyetleri sonucu satış getireceğinden bu konuda devlet girişimleri ve destekleri söz konusudur.

Üretici ve ihracatçı firmaların katılacağı Uluslararası Doğaltaş fuarları üretilen taşların görücüye çıktığı ve pazarlama faaliyetinin en önemli adımıdır. Türkiye ve Dünyada gerçekleştirilen doğaltaş fuarlarına farklı ülkelerden firmalar hem katılımcı hem de ziyaretçi olarak gelmektedir. Üretici ile tüketicinin birebir buluşması niteliğinde ki fuar organizasyonları için Türkiye'den katılım gösteren firmalara %80 oranında ve 394.000 TL üst sınırı değerinde devlet teşviği sağlanmaktadır. Bu fuarlardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz: Bursa Uluslararası Blok Mermer Fuarı, CNR Marbletech Doğaltaş Fuarı (İstanbul), Marble İzmir Doğaltaş Fuarı, Xiamen Stone Fuarı (Çin), Shanghai Mermer Fuarı (Çin), India Builtech Fuarı (Hindistan), Marmomacc Natural Stone Fair (Verona/İtalya).

Fuarlar birçok satış anlaşmasının, müşterilerle birebir ve yüz yüze görüşmelerin yapıldığı organizasyonlardır. Aynı zamanda ticaret odalarının veya ihracat birliklerinin girişimiyle doğaltaş talebi olan ülkelerin sektör temsilcileriyle bazı ticari buluşmalar organize edilmektedir. Bu buluşmalara firmalar davet edilerek ithalatçı ve ihracatçı firmaların buluşması sağlanmaktadır. Müşterilerle gerekli görüşmeler yapıldıktan sonra fabrika ve ocak ziyaretleri ve sonrasında da satış gerçekleştirilmektedir.

Devlet teşvikleri sadece fuar masraflarını karşılamakla kalmayıp Eximbank adı verilen kurumun kredileriyle de kendini göstermektedir. Firmanın ve yapılacak ihracatın hacmine göre birçok farklı kredi ürünü olan Eximbank, 'İhracata Başlama Kredisi' başta olmak üzere farklı başlıklarda kredi destekleri vermektedir.

### 3.2. İhracat Operasyon ve İhracat Belgeleri

Satış sözleşmeleri imzalanıp anlaşmaya varıldıktan sonra ihracatın operasyonel kısmı başlar. Proforma fatura ve çeki listeleri müşteriye ulaştırılıp, ödeme ve teslim şekline göre yükleme programı yapılır. Mermer ihracatında çoğunlukla denizyolu kullanılmakla birlikte karayolu ve demiryoluyla da ihracat gerçekleştirilmektedir. Denizyolu ihracatı yapılacaksa iç nakliye organize edilip malın limana veya yükleme alanına gönderilmesi sağlanır ve burada 20'lik veya 40'lik konteynerlere yükleme yapılır. Konteynerlerin liman ve gümrük sahasına girmesiyle birlikte gümrük beyannamesi düzenlenir, gemiye yüklenmesi ve geminin kalkışı sonrasında ise konşimento (ocean bill of lading B/L) belgesi düzenlenir. Kara veya demiryolunda konteynıra ihtiyaç duyulmamaktadır. Şekil 6'da mermer bloklarının, Şekil 7'de işlenmiş ve ambalajlanmış (kasalanmış) blok mermerlerin konteynırlara yüklenmesine, Şekil 8'de karayolu ile Şekil 9'da demiryolu ile yapılan blok mermer nakliyatına ait görüntüler verilmiştir.



*Şekil 6. Mermer blokların konteynerlere yüklenmesi*



*Şekil 7. İşlenmiş ve kasalanmış mermerin konteynerlere yüklenmesi*





Şekil 8. Karayolu ile blok mermer ihracatı



Şekil 9. Demiryolu ile blok mermer ihracatı

Yükleme yapılırken blok altına iki adet 10×10cm veya 15×15 ebatlarında kalas koyulmaktadır. Bu kalasların ve ebatlanmış mermer için kullanılan ahşap kasaların ısıtılma tabii tutulmuş ve ilaçlanmış olması gerekmektedir ve bu işlemlerin de sertifikaları ithalatçı firmanın malı gümrükten çekebilmesi için gereklidir.

Yüklenen mermerlerin hangi ülkeye ait olduğunu belirtmek amacıyla üretici faturası ve mal listesiyle birlikte 'Menşei Şahadetnamesi' veya Euro1, Atr gibi dolaşım belgeleri düzenlenir.

İthalatçı firmanın gümrükten malını çekebilmesi için ihracatçı firmadan istediği belgeleri şu şekilde sıralayabiliriz:

- 1- Ticari Fatura
- 2- Çeki listesi
- 3- Konteyner listesi
- 4- Menşei Şahadetnamesi (Certificate of Origin) veya dolaşım belgesi
- 5- Isıl İşlem Sertifikası
- 6- İlaçlama Sertifikası
- 7- Kalite Sertifikası
- 8- Konşimento

Tüm bu belgeler ihracatçı firma tarafında hazırlanıp hızlı posta yoluyla veya ödeme şekline göre banka aracılığıyla ithalatçı firmaya ulaştırılır. Malın çekilmesiyle birlikte ödeme yapılır ve ihracat dosyası kapanmış olur.

#### **4. DOĞALTAŞ İHRACATINDA KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ**

Doğaltaş tedarikçisi konumunda olan ülkemizin bu konudaki potansiyeli henüz tam anlamıyla kendini gösterememiştir ve geliştirilmesi ve yoluna koyulması gereken bir çok konu vardır. Ancak olumsuzluklara rağmen yine de doğaltaş sektörü kendini büyötmektedir. Her sektörde olduğu gibi gelişime engel olabilecek, bir takım temel sorunlar bulunmaktadır.

##### **4.1. Eğitim ve Nitelikli İş Gücü**

Diğer tüm sektörlerde olduğu gibi doğal taş üretim sektöründe de nitelikli işgücünün olmaması yapılan üretim işlerinde verimliliğin azalmasına neden olan önemli bir sorundur. Doğal taşların ocaklardan üretimlerinden başlayıp işleme tesislerinde istenilen nihai ürün formuna getirilmesi aşamasına kadar geçen sürede ocak, atölye, pazarlama, tasarım ve üretim teknolojileri alanlarında çalışan kişilerin eğitilmiş ve donanımlı olması ortaya çıkarılan ürünlerin kalitesi açısından çok önemlidir. Bu alanda istihdam edilen kişilerin eğitimlerini sağlayacak okulların bulunmaması ve buna bağlı olarak eğitilmiş eleman sayılarındaki yetersizlik milyonlarca lira değerindeki üretim materyallerinin işinin ehli olamayan kişilere teslim edilmesini zorunlu kılmaktadır. Türkiye’de bulunan meslek liselerinde doğaltaş üretimi konusunda yetiştirilmiş donanımlı öğretmenlerin bulunması doğal taş madenciliğinin yoğun şekilde yapıldığı bölgelerde üniversitelerde mermercilik programlarının açılması, mimarlık eğitimi veren bölümlerde doğal taşların mimari uygulamalarının önemini vurgulanması konuya olan ilgiyi artıracak, imalat ve üretim sırasında oluşabilecek olan zayıflığın önüne geçilmesini sağlayarak daha kaliteli ürünlerle ülkemizin doğal taş pazarındaki yerini yükseltmesine olanak sağlayacaktır (Erkek ve Özdemir, 2011; Hacımustafaoglu ve Elçi, 2018).

## 4.2. Reklam ve Pazarlama

Belirli bir reklam ve pazarlama standardının olmaması durumu tüm sektörler için teknolojinin hızla geliştiği şu dönemde girişimcileri olumsuz yönde etkilemektedir. Reklam ve pazarlama konusunda profesyonel adımların atılması özellikle ihracatın yüksek olduğu sektörlerde rekabetin dünya çapında artmasını sağlayacak önemli bir unsurdur. Türk mermer ve doğal taşları ihracatı yapılan önemli bir katma değer sağlayan ürünlerdendir. Bu sektörde standardizasyonun sağlanması, markalaşma ile gerçekleşebilir. Bu amaçla düzenli kalite kontrol sağlanmalı üretimin ilk aşamalarından paketlenme aşamasına geçinceye kadar titizlikle çalışılmalıdır. Kalite kontrol alanında yönetim aksaklığı, reklam ve tanıtım eksikliği sektör için önde gelen sorunlar arasındadır. Üretilen mermer ve doğal taşların uluslararası pazarlarda tanınırlığını artırmak için uluslararası fuarlara katılım sağlanmalı ve bu katılımlar teşvik ettirilmelidir (Erkek ve Özdemir, 2011; Hacımustafaoğlu ve Elçi, 2018).

## 4.3. Devlet Destekleri

Sağladığı katma değer ile ülke ekonomisine önemli ölçüde değer katan mermer ve doğal taş sektöründe teşviklerin artırılması, sektörün ekonomiye olan katkısının sürdürülebilirliği açısından önem arzeden bir konudur.

Üretim aşamasında yoğun enerji kullanımı gerektiren üretim yöntemlerinin kullanılması, ve işçilik giderlerinin yüksek oluşu maliyetleri artırmaktadır. Bu nedenle sahip olduğu rezerv miktarı ile önemli bir yerde ve konumda bulunan ülkemizde üretici ve ihracatçıların dış pazarlarda yerlerini korumaları ve daha üst noktalara çıkarabilmeleri için devletin adaletli ve teşvik edici destek uygulamalarını artırması önemli bir konudur (Erkek ve Özdemir, 2011).

## 4.4. Potansiyel Rekabet Gücü

Gerek yurt içinde gerek yurt dışında yüksek rekabet gücüne sahip olan Türk mermer ve doğal taş sektörü ihracatta rekabet gücünü artırabilmesi ve geliştirebilmesi için araştırma ve geliştirme faaliyetlerine daha fazla emek harcaması, marka değeri oluşturabilmek için çalışmalar yapması şirketler için ortak politikalar oluşturarak birlik sağlanması konularında adımlar atılmalıdır (Erkek ve Özdemir, 2011).

## 4.5. Ulaşım Sorunu

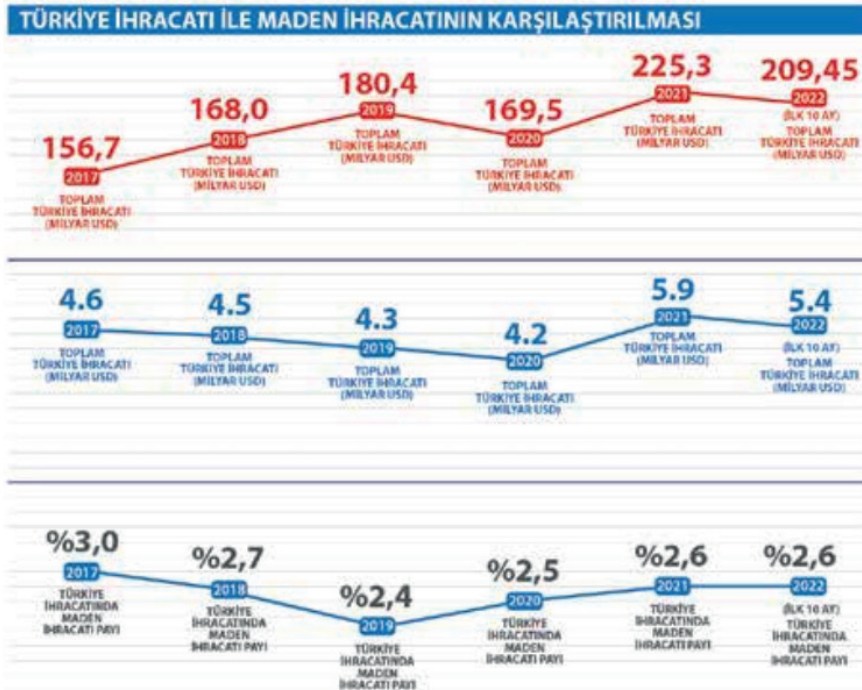
Ülkemizde akaryakıt fiyatlarının yüksek oluşu mermer ihracatı sırasında nakliye masraflarının artmasına neden olmaktadır. Bu durum ülkemizin rekabet yarışına geriden başlamasına neden olmaktadır. Bu bağlamda özellikle ihracatın gerçekleştirildiği şehirlere uzak olan şehirlerde yapılan üretimler sonucunda elde edilen ürünlerin nakliyesinde problemler yaşanmaktadır. Akaryakıt sorunları zamanla çözülemeyeceğinden demiryolları güçlendirilmeli ve kullanıma açılmalıdır (Erkek ve Özdemir, 2011).

#### 4.6. Mermer İhtisas Organize Sanayi Bölgeleri

Mermer ve doğal taş üretiminin yoğun şekilde gerçekleştirildiği bölgeler de üretim ve ihracat yapan firmaların ortak hareket etmelerini sağlamak için mermer ihtisas organize bölgelerinin oluşturulması sektörün gelişmesi için olumlu yönde katkı sunacaktır. Böylelikle atık yönetimi, kullanılan makinelerin çevreye verdiği zarar, rekabetin daha verimli ve etkili şekilde yapılabilmesi için çalışmaların yapılması konularında yarar sağlanacaktır. Örgütsel çalışma prensibi uygulayan şirketlerin birbirini tamamlar nitelikte oldukları gözlemlenmiştir. Ortak hareket eden firmaların olduğu sektörlerde piyasanın yararına hizmet edilmiş olunacaktır (Erkek ve Özdemir, 2011).

#### 5. TÜRKİYE DOĞAL TAŞ TİCARETİ

Türkiye'nin gün geçtikçe gelişen tarım, sanayi ve diğer sektörleri baz alındığında aynı hızla gelişen ihracat rakamları göze çarpmaktadır. Son yıllarda ki verilere baktığımızda yıllık 180 milyar \$ olan ihracatın ortalama 4,2 milyar dolarlık payını madencilik sektörü sağlamaktadır. Madencilik sektörünün altında ise 1,9 milyar dolarlık yani %50'ye denk gelen bir kısmını doğaltaş ihracatı olarak görmekteyiz. Şekil 10'da 2017-2022 yılları arasında gerçekleştirilen Türkiye ihracatı ile maden ihracatının karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 10. Türkiye ihracatı ile maden ihracatının karşılaştırılması



01 Ocak-31 Ekim 2022 tarihleri arasında kalan zaman diliminde yani 2022 yılının ilk 10 ayına ait ihracat verileri değerlendirildiğinde gerçekleşen toplam 209,45 milyar dolarlık ihracatın %2,6'lık bölümünün madencilik sektörüne ait olduğu anlaşılmaktadır. Bu veriler ışığında ihracatın bir önceki yıla göre %12,4 artış gösterdiği ve 5,44 milyar dolara karşılık geldiği söylenebilir.

Madencilik sektörünün üretip ihraç ettiği ürünler bazında değerlendirme yapacak olursak 2,93 milyon ton ve 528,20 milyon dolarlık blok mermer ve traverten ihracatının gerçekleştiği bunu çinko, bakır madenlerinin takip ettiği görülmektedir. İşlenmiş traverten ihracatımız ise 688 bin ton ve 283,84 milyon dolarla beşinci sırada yer almaktadır.

Ihracat yaptığımız ülkeler değerlendirildiğinde Avrupa Birliği ülkelerinden Bulgaristan, İtalya, İspanya, Belçika ve Almanya 1,88 milyar dolarla ilk sırayı almaktadır. Bu ülkelere yaptığımız ihracat 2021 yılına göre %21,9 oranında artmıştır. Diğer Asya ülkelerine yaptığımız ihracat %12,2 düşüş, Kuzey Amerika ülkelerine yaptığımız ihracat %17,7 artış, Orta Doğu ülkelerine ise %31,8 artış, Afrika ülkelerine % 42,3 artış şeklinde gerçekleşmiştir. Maden ihracatı gerçekleştirdiğimiz önemli ülkelerden biri olan Çin Halk Cumhuriyetine yaptığımız ihracat 51,61 oranında azalırken ABD, Bulgaristan, İtalya, İspanya ve Belçika'ya olan ihracatımız artmıştır (Okyay, 2022).

## 6. SONUÇ

Doğal taş ihracatı, Türkiye'nin ekonomisine önemli bir katkı sağlamaktadır ve ülke için önemli bir gelir kaynağıdır. Türkiye, doğal taşlarıyla dünya pazarında rekabetçi konumunu korumak için sürekli olarak kaliteyi artırmak ve yeni pazarlar keşfetmek için çaba göstermektedir. Türkiye mermer ve doğal taş ihracatçısı ülkeler arasında mermer ihracatının toplam ülke ihracatına oranına göre ilk sırada yer almasına karşın ihracat birim fiyat açısından değerlendirildiğinde son sırada kalan bir ülkedir. Dünya geneline bakıldığında mermer ve doğal taş üretimi yapıp ihraç eden ülkelerin ihracat birim fiyatlarına bakıldığında diğer maden ürünlerinin aksine doğal taş ürünlerinin fiyat skalalarının çok farklı olduğunu görebilmekteyiz. Bu durumun ürünlerin farklı renk ve desen özelliğine sahip olmaları ve albenilerinin sıklıkla değişmelerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Mermer bloğunun işlenerek satılması, bu sektörde ki istihdam rakamlarını arttırmakla kalmayıp aynı zamanda katma değeri yüksek bir ürün elde edilmesine olanak verecektir. Çağın gerektirdiği üretim sistemlerinin yaygınlaştırılmasına yönelik yapılacak destekler, ulusal ve uluslararası düzeyde mermerin daha fazla katma değer getirmesini sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- Çetin, E., (2021). *Türkiye mermer ihracat birim fiyatı analizi*. 11. Uluslararası Mermer ve Doğal taş Kongre ve Sergisi, Bildiriler Kitabı, 10-11 Aralık 2021, 52-61, Diyarbakır, Türkiye
- Erkek, D., & Özdemir, S. (2011). *Mermer ve Traverten Sektörüne Küresel ve Bölgesel Yaklaşım*. İstanbul
- www.enerji.gov.tr, erişim tarihi: 20.02.2024
- Hacımustafaoğlu, R., Elçi, H. (2018). *Mermer Sektörünün Bugünü ve Geleceğine Yönelik Öneriler*, Dokuz Eylül Üniversitesi Doğal Yapı Taşları Teknolojisi Programı, İzmir.
- Okyay, V. (2022). *Maden Sektörü Görünümü (2022 yılı ilk 10 ay)*, Madencilik Türkiye, Aralık, 60-64.
- Öztürk, M. (2018). *Mermer Kesiminden Kaynaklanan Çevre Kirliliği ve Önlemleri*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Müsteşarlığı, Ankara
- www.ticaret.gov.tr, T.C. Ticaret Bakanlığı, (2019). *Doğaltaşlar Sektör Raporu*, Ankara, erişim tarihi: 15.02.2024.
- Yener, L. (2022). *Doğaltaş Piyasasındaki Gelişmelerin Türkiye'ye Yansımaları*, Sektörü Paradigma Değişimine Zorluyor, Madencilik Türkiye, Aralık, 86-102.

# BÖLÜM 8

## DERİNİN MODA VE ESTETİK İLE İLİŞKİSİ

*Hatice ER<sup>1</sup>*

*Ertan EROL<sup>2</sup>*

*Nuray O. IŞIK EMEKSİZ<sup>3</sup>*



1 Dr.Öğr.Üyesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: 0000-0003-2125-7406

2 Öğr.Gör., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: 0000-0002-2595-9387

3 Doç.Dr., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Meslek Yüksekokulu, ORCID ID: 0000-0003-4749-336X

## 1. Giriş

Moda, tarih boyunca insanların kimliklerini ifade etmeleri, kültürel bağlamda iletişim kurmaları ve dönemin ruhunu yansıtmaları için bir platform olmuştur. Estetik ise, bu sürecin temelini oluşturarak, görsel algıları şekillendirir ve estetik değerlerin özüne dokunarak bireylere ve toplumlara anlam katar. Bu bağlamda, moda ve estetik kavramları birbirinden ayrılmaz bir birlik içinde varlıklarını sürdürürler.

Moda ve estetik, insanlık tarihinde kültürlerarası etkileşimin bir yansıması olarak süregelen evrensel kavramlardır. Bu iki kavram, bireylerin kişisel ifadesinden toplumsal normlara kadar geniş bir yelpazede etkileşimde bulunan güçlü ve dinamik unsurları içinde barındırır. Moda, sadece giyim tarzlarını belirlemekle kalmayıp aynı zamanda sosyal, ekonomik ve kültürel değişimlerin bir parçası olarak evrim geçirirken, estetik ise güzellik algısını ve sanatsal değeri şekillendiren temel bir ilkedir. Bu bağlamda, moda ve estetik kavramları birbirinden ayrı düşünülemez; tam aksine, birbirini besleyen, etkileyen ve yönlendiren dinamik bir ilişki içerisinde (İmre, 2016).

Deri, bu karmaşık ilişkinin önemli bir unsurunu temsil eder. Doğal özellikleri, dayanıklılığı ve estetik çekiciliğiyle deri, modanın kalbinde yer alırken, aynı zamanda estetik anlayışın zenginleşmesine katkıda bulunur. Derinin kullanımı, giyim tasarımlarında dokusal bir zenginlik yaratırken, renk seçenekleri ve esnekliğiyle tasarımcıların yaratıcılık sınırlarını genişletir. Moda endüstrisinde derinin evrimi, tarihsel olarak değişen estetik anlayışlarına paralel olarak şekillenmiş ve bu malzemenin taşıdığı sembolik değerlerle birlikte modanın dönemsel akımlarını etkilemiştir (Tuna, 2013).

Deri, moda dünyasında estetikle olan derin bağlam içinde sadece bir malzeme olmanın ötesine geçerek, kültürel, ekonomik ve çevresel açılardan da önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, derinin moda dünyasındaki rolüne odaklanılacak ve estetik kavramıyla olan bağı incelenmiştir. Derinin doğal özellikleri, moda tasarımlarındaki estetik trendlere nasıl yön veriyor, tasarımcılar nasıl bir estetik vizyon ile deriyi kullanıyor ve gelecekte derinin moda ve estetik bağlamında nasıl evrileceği gibi sorular ele alınmıştır. Ayrıca, sadece dışsal güzellikle sınırlı olmayan estetik kavramının, derinin kullanımıyla birlikte çevresel ve sürdürülebilirlik boyutlarıyla da nasıl bütünleştiği incelenmiştir.

## 2. DERİ: MODA ENDÜSTRİSİNDEKİ ÇOK YÖNLÜ OYUNCU

### 2.1. Derinin Tarihçesi ve Geleneksel Kullanım Alanları

Deri, insanlık tarihinde oldukça köklü bir geçmişe sahip olan ve çeşitli amaçlar için kullanılan bir malzemedir. Derinin tarihçesi, insanların avcılıkla geçim sağladığı tarih öncesi dönemlere kadar gitmektedir. İlk insanlar,

avladıkları hayvanların etlerini tüketmenin yanı sıra, derilerini giyim ve barınak yapımında kullanmışlardır.

Tarih boyunca deri, farklı kültürlerde ve medeniyetlerde çeşitli kullanım alanları bulmuştur. İlk dönemlerde deri, temel ihtiyaçları karşılamak amacıyla kullanılmıştır. Korunma, sağlık ve ısınma gibi temel ihtiyaçlar derinin ilk kullanım alanlarını oluşturmuştur. Deri aynı zamanda avcılık ve hayvancılıkla uğraşan topluluklar için vazgeçilmez bir malzeme olmuştur (Çınar ve Tozun, 2020).

Antik çağlarda, deri işlemeciliği özellikle Akdeniz bölgesinde gelişmiştir. Eski Mısır'da deri ürünleri günlük yaşamda yaygın olarak kullanılırken, Antik Yunan ve Roma'da deri, askeri kıyafetler, zırhlar ve ayakkabılar gibi çeşitli ürünlerin üretiminde kullanılmıştır.

Ortaçağ'da Avrupa'da, deri üretimi ve işlemeciliği büyük bir sanayi haline gelmiştir. Deri, ayakkabı, eldiven, çanta, zırh ve kılıç kılıfları gibi ürünlerin yapımında yaygın olarak kullanılmıştır. Sanayi Devrimi ile birlikte, deri işlemeciliği teknolojik gelişmelerle büyük bir dönüşüm geçirmiş ve makineleşme sayesinde daha büyük miktarlarda ve daha hızlı üretime olanak tanımıştır (Karaoğlu, 2021).

Bugün, deri hala moda dünyasında, aksesuarlarda, mobilya tasarımında, otomotiv endüstrisinde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Geleneksel kullanım alanlarına ek olarak, deri modern çağda da şıklık, dayanıklılık ve estetik değeri ile tercih edilen bir malzeme olmaya devam etmektedir. Derinin tarihçesi, insanların ihtiyaçlarına uygun bir şekilde evrimleşmiş ve günümüzde de çok çeşitli amaçlar için kullanılmaya devam edilmektedir.

## 2.2. Derinin Modern Moda Dünyasındaki Evrimi

Deri, modern moda dünyasında çeşitli evrimlere uğramış ve zaman içinde farklı stiller, kullanım şekilleri ve tasarımlarla moda sahnesinde varlığını sürdürmüştür. Bu evrim, hem deri endüstrisindeki teknolojik gelişmelerden hem de moda tasarımcılarının yaratıcılıklarından kaynaklanmaktadır.

### Geleneksel Kullanım:

Deri, tarihsel olarak giyim sektöründe özellikle ceketler, pantolonlar ve ayakkabılar gibi dayanıklı ve şık giyim eşyalarının yapımında kullanılmıştır. Bu geleneksel kullanım, derinin sağlamlığı, dayanıklılığı ve estetik çekiciliği nedeniyle uzun bir süre devam etmiştir.

### Modern Giyim Tasarımları:

Günümüzde deri, sadece geleneksel giyimde değil, aynı zamanda modern tasarımlarda da önemli bir rol oynamaktadır. Deri ceketler, elbiseler, etekler ve aksesuarlar, moda tasarımcılarının yaratıcılığıyla farklı stillerde ve kesimlerde ortaya çıkmaktadır. Moda dünyasında deri, hem klasik hem de

sokak modası gibi farklı tarzlarda kullanılarak çeşitli moda akımlarına uyum sağlamıştır.

### **Kültürlerarası Etkileşim:**

Küreselleşme ile birlikte farklı kültürlerden esinlenen tasarımlar, deri modasında çeşitliliği artırmıştır. Etnik dokular, desenler ve geleneksel el işçiliği, modern deri tasarımlarında sıkça kullanılan unsurlardan biri haline gelmiştir.

### **Sürdürülebilir Moda:**

Son yıllarda, sürdürülebilirlik ve etik moda trendleri yükseldikçe, deri endüstrisi de bu değişime ayak uydurmuştur. Vegan deri ve geri dönüştürülmüş deri gibi yenilikçi malzemeler, deri giyimde sürdürülebilir alternatifler olarak ortaya çıkmıştır.

### **Moda Aksesuarları:**

Deri, sadece giyimde değil, aynı zamanda çanta, ayakkabı, kemer ve diğer moda aksesuarlarında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Moda evleri, deriyi farklı renklerde, desenlerde ve dokularda kullanarak çeşitli ve şık aksesuarlar ortaya koymaktadır.

### **Teknolojik İnovasyon:**

Teknolojik ilerlemeler, deri endüstrisine çeşitli inovasyonlar getirmiştir. Biyoteknoloji ve laboratuvar üretimi, geleneksel deri üretim yöntemlerini dönüştürerek hayvan dostu ve çevre dostu seçenekleri mümkün kılmıştır.

Derinin modern moda dünyasındaki evrimi, hem endüstriyel gelişmelerin hem de tasarımcıların yaratıcılığının bir ürünü olarak dikkat çekmektedir. Bu evrim, derinin sadece geleneksel ve klasik formlarda değil, aynı zamanda çağdaş ve yenilikçi tasarımlarda da kendine yer bulmaktadır.

## **3. DERİNİN ESTETİK KATKILARI**

### **3.1. Dokusal Zenginlik ve Görsel Çekicilik**

Deri, estetik açıdan zengin ve görsel olarak çekici bir malzeme olarak modada ve tasarımda önemli bir rol oynamaktadır. Derinin estetik katkıları, hem dokusal zenginlik hem de görsel çekicilik açısından değerlendirilebilir.

#### **3.1.1. Dokusal Zenginlik: Derinin Estetik Deneyimine Katkısı**

##### **Doğal Doku:**

Deri, doğal olarak çeşitli dokusal özelliklere sahiptir. Bu dokular, hayvan türüne ve işleme yöntemine bağlı olarak değişir.

Örneğin, boğa derisi kalın ve dayanıklı bir dokuya sahipken, keçi derisi daha yumuşak ve ince bir dokuya sahip olabilir.

**Dokusal Çeşitlilik:**

Deri tasarımlarında kullanılan farklı deri türleri, dokusal çeşitlilik sağlar. Bu, tasarımcılara ve kullanıcılara çeşitli dokusal deneyimler sunar.

Pürüzlü, düz, tüylü, yünlü veya desenli deri gibi çeşitli dokular, tasarımlara karakter ve özgünlük katar.

**Estetik Denge:**

Dokusal zenginlik, tasarımın görsel estetiğiyle birleşerek dengeli bir görünüm oluşturur. Yumuşak ve pürüzlü dokular arasındaki denge, tasarımın çekiciliğini artırabilir.

Mobilya, giyim veya aksesuar tasarımlarında dokusal kontrastlar, kullanıcının hissiyatını zenginleştirir.

**Kullanım Alanlarına Uyum:**

Derinin dokusal özellikleri, kullanım alanına uyum sağlar. Örneğin, mobilya tasarımlarında kullanılan dokulu deri, oturma gruplarına sıcaklık ve konfor katar.

Giyim tasarımlarında ise dokusal zenginlik, tasarımın moda dünyasında öne çıkmasına katkıda bulunabilir.

**Yaratıcılık ve İfade:**

Tasarımcılar, derinin dokusal özelliklerini kullanarak yaratıcı ve ifade dolu tasarımlar ortaya koyabilirler. Dokular, tasarımın hikayesini anlatmada bir araç olabilir.

Deri üzerine işlenmiş desenler, oymalar veya dikişler, dokusal zenginliği artırarak tasarımın özgünlüğünü vurgular.

**Kullanıcı Deneyimi:**

Kullanıcılar, derinin dokusal zenginliğiyle etkileşime geçerek ürünü daha yakından hissedebilirler. Bu, tasarımın kullanıcı deneyimini zenginleştirir ve ürünle duygusal bir bağ kurmalarına yardımcı olabilir.

Dokusal zenginlik, deri tasarımlarının estetik açıdan zengin ve çeşitli olmasına katkıda bulunur. Tasarımların kullanıcılar üzerinde bıraktığı hissiyatı artırarak estetik deneyimi güçlendirir (Ertürk, 2011).

**3.1.2. Görsel Çekicilik: Derinin Estetik Anlamda Görsel Etkisi****Renk Çeşitliliği:**

Derideki renk çeşitliliği, görsel çekiciliği önemli ölçüde etkiler. Canlı renkler enerji verirken, nötr tonlar sade ve şık bir görünüm sunabilir.

Renk kontrastları ve kombinasyonları, tasarımın dikkat çekici ve estetik olmasına katkıda bulunur.

### **Desen ve Tekstür:**

Deri tasarımlarındaki desenler ve tekstürler, görsel çekiciliği artırır. Örneğin, dokuma desenler veya kabartmalar derinin yüzeyinde ilgi çekici detaylar oluşturabilir.

Desenler, moda tasarımlarında özgünlük ve tarz katarken, mobilya tasarımlarında mekanın karakterini zenginleştirir.

### **Parlaklık ve Matlık:**

Parlak deri, tasarımın lüks ve modern bir hava kazanmasına yardımcı olabilir. Mat deri ise daha doğal ve sade bir estetik sunar.

Parlaklık ve matlık, tasarımın kullanılacağı ortama ve kullanıcı tercihlerine göre seçilebilir.

### **Minimalist veya Süslü Tasarımlar:**

Görsel çekicilik, tasarımın minimalist veya süslü olmasına bağlı olarak farklılık gösterebilir. Sade tasarımlar genellikle modern ve şık bir çekiciliğe sahiptir.

Süslü detaylar ise tasarımı daha geleneksel veya etnik bir tarza yönlendirebilir.

### **Uyumlu Kombinasyonlar:**

Deri, diğer malzemelerle uyumlu kombinasyonlar oluşturabilir. Ahşap, metal veya kumaş gibi malzemelerle yapılan kombinasyonlar, tasarımın estetik bütünlüğünü sağlar.

Farklı malzemelerin bir araya gelmesi, tasarımın görsel çekiciliğini artırabilir.

### **Moda ve Trendlere Uyum:**

Moda dünyasındaki trendlere uygun renk ve desen seçimleri, deri tasarımlarını güncel ve çekici kılar. Sezonun trendlerini takip etmek, tasarımın popüler ve talep gören olmasına yardımcı olabilir.

### **Kullanım Alanlarına Göre Tasarım:**

Moda tasarımlarında vücut hatlarına uygun kesimler, mobilya tasarımlarında ergonomik formlar görsel çekiciliği artırabilir. Tasarımın kullanılacağı alanın ihtiyaçlarına uygunluğu, estetik açıdan önemlidir.

Derinin görsel çekiciliği, tasarımın ilk izlenimi ve estetik değeri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Renk, desen, dokular ve malzeme kombinasyonlarıyla deri tasarımları, kullanıcılara estetik ve çekici bir deneyim sunar (Gökçe, 2015).



### 3.1.3. Yumuşaklık ve Parlaklık:

Deri, doğal parlaklığı ve yumuşak dokusuyla dikkat çeker. Bu özellikler, derinin kullanıldığı giyim ve aksesuarlara zariflik ve lüks bir hava katmaktadır. Derinin doğal parlaklığı, ışığı yansıtarak ürünlere canlılık katar.

#### **Yumuşaklık:**

Deri, doğal bir malzeme olup, dokusu genellikle yumuşak ve dokunsaldır. Kullanılan deri türüne göre farklılık gösteren yumuşaklık, giyim ve mobilya tasarımlarında konfor ve kullanım kolaylığı sağlar. Yumuşak deri, özellikle giyimde vücut hatlarını takip ederek rahat bir hissiyat sunar.

#### **Parlaklık:**

Deri tasarımlarındaki parlaklık, kullanılan deri türüne ve işleme yöntemine bağlı olarak değişiklik gösterir. Parlak deri, genellikle lüks ve şıklık hissiyatını yansıtar. Bu özellik, özellikle deri ayakkabı veya çanta gibi moda ürünlerinde tercih edilir. Mat deri ise daha doğal ve sade bir görünüm sunar, mobilya tasarımlarında tercih edilen bir özelliktir.

#### **Dokunsal Deneyim:**

Yumuşak ve parlak deri, kullanıcıya dokunsal bir deneyim sunar. Giyimde, mobilyada veya aksesuarlarda kullanılan deri, dokunduğunda kalite ve konfor hissiyatını artırır.

Derinin dokunsal özellikleri, tasarımın kullanıcıyla etkileşimini önemli ölçüde etkiler. Yumuşak ve parlak deri, kullanıcıya premium bir hissiyat sunabilir.

#### **Çeşitli Uygulama Alanları:**

Yumuşak deri genellikle giyim, iç tasarım ve mobilya alanlarında kullanılır. Yumuşaklık, giyimde giyenin vücuduna uyum sağlarken, mobilyada kullanıldığında konforlu oturma alanları oluşturabilir.

Parlak deri ise genellikle moda dünyasında ayakkabı, çanta ve ceket gibi ürünlerde tercih edilir. Aynı zamanda iç mekan tasarımlarında da kullanılabilir.

#### **Estetik Katkı:**

Yumuşak ve parlak deri, tasarımlara estetik olarak katkıda bulunur. Parlaklık, tasarımın modern ve lüks bir hava kazanmasına yardımcı olabilir, yumuşaklık ise tasarımın kullanıcının deneyimine odaklanmasını sağlar.

## 4. TASARIMCILARIN GÖZÜNDEN DERİ

### 4.1. Tasarımcıların Deriyi Estetik Bir Malzeme Olarak Görmesi

Derinin elde edildiği hayvanın özelliklerine bağlı olarak, deri çeşitlilik arz eder. Bu çeşitlilik, tasarım süreçlerinde önemli bir rol oynar, çünkü kullanılacak ürünün tasarımını belirlemede etkili olur. Dünya genelinde müzeler-

de sergilenen farklı kültürlerin deri kullanımına dair ürünleri, derinin çeşitli estetik ve fonksiyonel özelliklerini göstermektedir (Yüksel, 2019).

Deri, ilk çağlardan günümüze kadar geçen süreçte önemli bir değişim ve gelişim sergileyen bir malzeme olmuştur. Bu süreç içinde, toplumların yaşam koşulları, kültürel özellikleri ve ihtiyaçlarına bağlı olarak deri, üretim teknikleri, biçimi, sembolik anlamı ve tasarım açısından büyük farklılıklar göstermiştir. Gelişen teknoloji, iletişim koşulları ve dünya genelinde meydana gelen sosyo-kültürel olaylar, deri giysilerini moda olgusunun bir parçası haline getirmiştir (Ertürk, 2011).

Deri, sadece bir malzeme olmanın ötesinde, toplumların evrimine paralel olarak dönemsel değişimlere uğramış ve adapte olmuştur. İnsanların ihtiyaçları, estetik anlayışları ve modayı şekillendiren unsurlar, derinin kullanımını etkileyen önemli faktörler olmuştur. Bu süreç, deriyi sadece bir giyim malzemesi olarak değil, aynı zamanda kültürel bir ifade ve moda dünyasının dinamik bir parçası olarak da ele alınmasına neden olmuştur.

Dolayısıyla, derinin tarih içindeki değişimi ve günümüzdeki konumu, sadece malzeme olarak değil, aynı zamanda bir kültür ve moda unsuru olarak ele alınmasıyla ortaya çıkan zenginlikleri yansıtmaktadır. Deri, geçmişten günümüze kadar süregelen bu evrimsel yolculukta, insanların hayatına ve moda dünyasına önemli katkılarda bulunmuştur.

Deri, binlerce yıldır insan hayatında var olmasının yanı sıra, günümüzde de tasarımcıların estetik bir malzeme olarak görmesine sebep olmuştur. Derinin moda dünyasında ve estetik anlayışında özel bir yer edinmesi, onun evrimsel süreç içindeki gelişimine ve çeşitlenmesine bağlıdır. Bu özellikleriyle deri, tasarımcılar için yaratıcı ve estetik açıdan zengin malzeme seçenekleri sunarak moda dünyasında önemli bir rol oynamaktadır (Kula, 2006).

## 5. MODA TRENDLERİNDE DERİ: GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE DEĞİŞEN ROL

### 5.1. Derinin Tarih İçindeki Moda Trendlerindeki Yeri

#### Kovboylar ve Deri Giysileri:

1950'ler öncesinde deri giyim, vahşi Batı'nın sakinleşmesi ve Amerikan kimliğinin oluşumunda önemli bir sembol haline geldi. LeviStrauss'un liderliğindeki akım, kanvas pantolonlar ve kısa deri ceketlerle yayıldı. Gençler, Amerikan yerlilerinin postlarını keşfetmekle kalmayıp giyim tarzlarını benimsemeye başladılar. Kovboylar, at üstünden düşme riskiyle karşılaştıkları için koruma amacıyla kot pantolonların üstüne kalın deriden yapılmış "chap" giydiler. Eldivenler genellikle keçi, geyik veya at postundan yapılırken, püsküllü ceketler ise at üstüneyken görsel etki yaratmak amacıyla kullanıldı. Deri kovboy kıyafetleri coğrafi bölgelere göre farklılık gösterdi. Buffalo Bill

gibi efsanevi figürler, deri giyim tarihinde önemli bir rol oynadı ve yerli Amerikalıların amaçlarını savundu (Kurtipek ve Akbulut, 2021).



Şekil 1: Kovboy kıyafeti (Fashionbeans, 2024)



Şekil 2: Kovboy çizmesi ve şapkası (Realmen, 2024)

### Askeri Üniformalarda Deri Kullanımı:

Havacılığın gelişmesi, özellikle Alman Ordusu'nun I. Dünya Savaşı'nda pilotlar için tasarladığı deri giysilerle moda akımının başlamasına neden oldu. A1 ve A2 uçuş ceketleri, koyun postlarından üretilmiş olup, II. Dünya Savaşı'nda kahramanlık sembolü haline geldi. 1934'te tanıtılan "Bombacı Ceket" ile deri giyim, uzun uçuşlarda rahatlık sağladı. Amerikan Hava Kuvvetleri'nde 1943'ten sonra hemşire ve pilot sayısının artması, deri giysilerin çeşitlenmesine katkı sağladı. Ancak, Vietnam Savaşları sırasında yeni kumaşların kullanılmasıyla deri giyim geriledi. 1980'lerde Amerikan Hava Kuvvetleri'nin deriyi tekrar kullanmaya başlaması, deri giyim trendini canlandırdı ve toplum içinde popülerliğini sürdürdü (Kula, 2006).



Şekil 3: Bombacı deri ceket (Yxtocs, 2024)

### Motorcular ve Asiliğin Sembolü Deri Ceketler:

20. yüzyılın başlarında efsanevi motor yapımcıları ortaya çıkarak motosiklet kullanımını yaygınlaştırdı. Motorcuların tercihi olan deri giyim, ilk olarak at derisinden üretilen kahverengi ceketlerle ortaya çıktı. Motorcular, deri giyimle asi bir imaj oluşturdu ve özel giyim sektörü bu taleple büyüdü. Levi Strauss'un ürettiği deri ceketler ve popüler "The Cycle Champ" ile deri giyim, 1950'lerde Harley Davidson ve Buco'nun başlıklarıyla tekrar popüler hale geldi. Siyah deri ceketler, motor çeteleri tarafından giyilerek isyanın sembolü haline geldi. Sokak sinemasının etkisiyle deri ceketler özgürlüğü simgeler hale geldi (Şenel, 2013).





Şekil 4: Motorcu deri ceketleri (Thejacketspot, 2024)

### Punk Akımı ve Siyah Deri Ceketler:

1970'lerde punk akımı, cinsiyet ayrımlarına ve giysilerin cinsiyetle ilişkilendirilmesine karşı bir başkaldırı olarak ortaya çıktı. David Bowie'nin öncülük ettiği punk estetiği, metal çivilerle süslenmiş siyah deri mont, yırtık kot pantolon ve slogan içeren tişörtleri içeriyordu. Punk, gençlik kültürü, popüler kültür ve moda arasında karmaşık bir ilişkiyi yansıtarak bilimkurgu ve punk'ın birleşimiyle popülerleşti. Tasarımcılar, punk estetiğini benimseyerek koleksiyonlarında bu isyankar tarzı yansıttılar. Ancak 1980'lerde rock gruplarının etkisiyle punk stilinin önemi azaldı (Enes, 2022).



Şekil 5: Punkçı deri ceketler (Reddit, 2024)

### Deri Giysiler İçinde Sahne ve Sinema Starları:

Ünlülerin sıkça tercih etmesi, özellikle sinema ve sahne dünyasında, deri giysilerin moda dünyasındaki etkisini artırmıştır. Rock ve pop müziğin ikonları, sahne kıyafetleri olarak deri giysileri benimseyerek geniş kitlelere ulaşımlardır. Elvis Presley, Gene Vincent, Jim Morrison gibi sanatçılar, deri giyimle sahne alarak bu tarzın popülerliğini artırmışlardır. James Dean'ın "Rebel Without a Cause" filmi ve Perfecto ceketlerin ünlüler arasında yaygın olarak kullanılması, deri giyim trendini desteklemiştir. Günümüzde de ünlülerin tercihi olan deri giysiler, moda dünyasında önemli bir reklam aracı olmaya devam etmektedir (Berkkam, 2009).



Şekil 6: Deri giysiler içinde Elvis Presley (Whisty, 2024)

## 5.2. Güncel Moda Akımlarında Deri Kullanımı ve Etkileri

Postmodernizmin doğuşuyla birlikte, 1960'lı yıllarda modernizme karşı bir eleştiri ve alternatif bir yaklaşım ortaya çıkmıştır. Bu dönemde postmodernizm, sadece modernizme bir tepki olmakla kalmayıp aynı zamanda kuralsızlık ve özgür yaratı anlayışını benimseyen bir kavram haline almıştır. Modernizmin sıkı kurallarına ve standartlarına karşı çıkarak, esneklik ve çeşitlilik vurgusu yapmıştır. Farklı disiplinleri ve farklı anlatıları bir araya getiren postmodernizm, sanat, tasarım, kültür ve diğer alanlarda çeşitliliği teşvik etmiştir. Bu bağlamda postmodernizm, hem sanatsal ifade hem de düşünsel bir dönüşümün simgesi haline gelmiştir (Teke, 2022).

Postmodernizm, tasarım dünyasına deriyle buluşarak yeni ve sıra dışı bir estetik getirmiştir. Modernizmin işlevsel odaklı tasarım anlayışına karşı çıkarken, deri kullanımıyla birlikte kuralsızlığın ve özgür yaratının vurgulandığı bir kavram haline gelmiştir. Derinin dokusu, rengi ve esnekliği, postmodern tasarımlarda öne çıkan sanatsal ve deneysel yaklaşımı desteklemiştir.

Bu süreçte postmodernizm, tasarımı deri ile birleştirerek tasarımcıların özgür bir platformda ifade edilmelerine olanak sağlamıştır. Derinin kullanımı, tekstil malzemelerine alternatif ve çeşitli bir boyut kazandırmış, el işçiliği ve teknoloji ile bir araya gelerek deneysel bir estetiği beraberinde getirmiştir (Fıçıcıoğlu, 2021).

Şu anda postmodernizmin tasarım dünyasındaki gelişiminin bir örneği olarak kabul edilen bu alan, gelecekte deri ile giyim sektöründe yeni açılımların ve sıra dışı kavramların ortaya çıkmasına katkıda bulunabilir. Derinin benzersiz özellikleri, deneysel tasarım ilkeleriyle birleşerek, gelecekte de sıra dışı ve keşfedilmemiş estetikleri ortaya çıkarabilir.

## 5.3. Çeşitli Deri Koleksiyon Temaları

Deri koleksiyonlarında kullanılacak çeşitli temalar, tasarımcıların yaratıcılıklarını ve estetik anlayışlarını ifade etmelerine olanak tanır (Erdoğan, 2011).

Örnek deri koleksiyonlarında kullanılacak bazı temalar:

### **Vintage Rüya:**

Retro deri tasarımların hakim olduğu bir tema. Eskitilmiş deri, eski zamanlara ait dokular ve klasik kesimler içerir.

### **Fütüristik Deri:**

Metalik renkler, parlak yüzeyler ve modern kesimlerle geleceği temsil eden bir tema. Yüksek teknoloji ve minimalist detaylar içerir.



**Safari Macerası:**

Doğadan ilham alan bir temadır. Deri ceketlerde hayvan desenleri, toprak tonları ve etnik detaylar içermektedir.

**Rock'n Roll Ruhü:**

Asi ve cool bir temadır. Deri pantolonlar, ceketler ve aksesuarlarla birlikte metal detaylar, payetler ve punk etkileri içermektedir.

**Minimalist Lüks:**

Az ve öz tasarımları vurgular. Kaliteli deri malzemeler, temiz çizgiler ve nötr renkler bu temanın öne çıkan özellikleridir.

**Bohem Şıklık:**

Özgür ruhlu ve feminen bir temadır. Deri elbiselerde dantel detaylar, yumuşak dokular ve doğal renk paleti içermektedir.

**Gece Gücü:**

Şık ve sofistike deri tasarımların hakim olduğu bir temadır. Siyah, bordo, lacivert gibi gece renkleri ve parlak detaylar içermektedir.

**Motorcu Çağrısı:**

Klasik motorcu tarzını temsil eden deri koleksiyonudur. Deri ceketler, botlar, metal tokalar ve ağır detaylar içermektedir.

**Teknoloji ile Buluşan Deri:**

Yüksek teknoloji malzemeleri ile birleştirilen deri tasarımları içermektedir. Akıllı tekstil teknolojileri, ısıtma özellikleri gibi inovasyonlar bu temada yer alabilmektedir.

**Masalsı Doku:**

Masalsı ve fantastik bir temadır. İlginç deri dokuları, desenli deri kullanımı ve masalsı renk paleti içermektedir.

Her bir tema, deri koleksiyonlarında farklı bir hikaye anlatma ve tasarımları öne çıkarma fırsatı sunmaktadır. Tasarımcılar, müşteri beklentilerini ve moda trendlerini göz önünde bulundurarak bu temaları kendi yaratıcı dokunuşlarıyla birleştirerek benzersiz koleksiyonlar ortaya çıkarabilirler (Meltem, 2020).

**6. GELECEK PERSPEKTİFLERİ: DERİ, MODA VE ESTETİK****6.1. Derinin Gelecekteki Moda Endüstrisindeki Tahmini Rolü**

Gelecekteki moda endüstrisinde derinin rolü, sürdürülebilirlik, yenilikçilik ve teknolojik gelişmelerin etkisiyle şekillenecektir. Deri, geleneksel olarak lüks ve dayanıklılıkla ilişkilendirilmiştir; ancak, çevresel etkileri ve hay-

van hakları endişeleri nedeniyle alternatif malzemelerin araştırılması moda dünyasında daha fazla önem kazanmaktadır (Berber ve Keskin, 2021).

Derinin gelecekteki moda endüstrisindeki tahmini rolüne dair bazı anahtar faktörler şunlardır:

**Sürdürülebilirlik ve Etik Tasarım:** Moda endüstrisi, çevresel etkileri en aza indirmeye ve daha etik üretim süreçlerine yönelmeye odaklanmaktadır. Deri alternatifleri, hayvanlara zarar vermeden ve çevreye daha az etki bırakarak üretilen materyaller arasında öne çıkabilir (Akyüz, 2023).

**Yenilikçi Malzemeler ve Teknoloji:** Deri endüstrisindeki araştırma ve geliştirme çalışmaları, yenilikçi malzemelerin ve teknolojilerin ortaya çıkmasına olanak tanır. Örneğin, laboratuvar ortamında üretilen sentetik deri, geleneksel deriye alternatif olabilir.

**Deri ve Tekstil Entegrasyonu:** Deri, tekstil ürünleriyle entegre edilerek çeşitli tasarımların ortaya çıkmasına olanak tanır. Deri ve tekstil kombinasyonları, estetik ve işlevsellik açısından çeşitli tasarım olanakları sunabilir.

**Kişiselleştirme ve Teknolojik Uygulamalar:** Geleceğin moda endüstrisinde teknolojik uygulamalar, deri ürünlerini kişiselleştirmek için kullanılabilir (Karaman ve Akyüz, 2015). Akıllı kumaşlar ve giyilebilir teknolojiler, deri giyimde işlevselliği artırabilir.

**Döngüsel Moda ve Geri Dönüşüm:** Sürdürülebilirlik odaklı bir yaklaşım olarak, deri ürünlerin geri dönüşümü ve döngüsel moda konsepti önem kazanabilir. Bu, atılan deri ürünlerin tekrar kullanılmasını ve kaynakların daha etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar.

Derinin gelecekteki moda endüstrisindeki rolü, bu faktörlerin etkileşimi ve endüstrinin genel değişimleriyle şekillenecektir. Sürdürülebilir, etik ve yenilikçi yaklaşımların moda dünyasındaki yeri arttıkça, derinin de bu evrimin bir parçası olması beklenmektedir.

## 6.2. Sürdürülebilirlik ve Etik Değerlerin Deri Modasındaki Etkisi

Sürdürülebilirlik ve etik değerler, deri modasındaki önemli bir dönüşümü tetiklemekte ve sektörde birçok açıdan etkili olmaktadır (Basak, 2020).

Sürdürülebilirlik ve etik değerlerin deri modasındaki etkileri şunlardır:

**Hayvan Hakları ve Alternatif Materyaller:** Geleneksel deri üretimi hayvanların zarar görmesine neden olabilir. Bu nedenle, sürdürülebilirlik ve etik değerlere odaklanan markalar, hayvan haklarına saygılı olan veya hayvan kullanımını tamamen ortadan kaldıran alternatif materyalleri araştırmakta ve kullanmaktadır.

**Çevre Dostu Üretim Süreçleri:** Deri üretimi genellikle çevresel etkileri nedeniyle eleştirilmektedir. Sürdürülebilir markalar, daha az su ve enerji

tüketen, kimyasal kullanımını azaltan ve atıkları minimuma indiren üretim süreçleri benimsemektedir (Emeksiz ve Akyüz, 2023).

**Adil Ticaret ve İnsan Hakları:** Etik değerlere sahip markalar, üretim süreçlerinde adil ticaret prensiplerine ve insan haklarına saygı gösterir. Bu, işçi koşullarının iyileştirilmesi, adil ücret politikalarının uygulanması ve toplulukları destekleyen projelere yatırım yapılması anlamına gelebilir.

**Transparan Tedarik Zinciri:** Sürdürülebilir ve etik deri markaları, ürünlerinin tedarik zincirini şeffaf bir şekilde sunar. Bu, tüketicilere ürünlerinin nereden geldiği, nasıl üretildiği ve hangi koşullarda üretildiği konusunda bilgi sağlar.

**Moda Bilinci ve Tüketici Eğitimi:** Sürdürülebilir ve etik değerlere sahip markalar, tüketicilere sürdürülebilir moda konusunda eğitim verir. Bu, tüketicilerin bilinçli tercihlerde bulunmalarına ve daha sürdürülebilir ürünleri desteklemelerine olanak tanır.

**Geri Dönüştürülebilir ve Dayanıklı Tasarım:** Sürdürülebilir deri modası, dayanıklı tasarımı teşvik eder. Uzun ömürlü ürünlerin tasarlanması ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması, atık miktarını azaltmaya yönelik bir çabadır.

Sürdürülebilirlik ve etik değerlerin deri modasındaki etkisi, sektörde daha bilinçli ve sorumlu bir yaklaşımın benimsenmesine yol açarak hem çevre hem de toplum için olumlu bir değişim yaratmaktadır (Şevkay ve Bayburtlu, 2020).

## SONUÇ VE ÖNERİLER

Moda dünyasında her daim yer alan derinin estetik ve şıklıkla birleştirilmesi sonucu yaratıcı potansiyeli ortadadır. Deri, doğal dokusu, renk çeşitliliği ve dayanıklılığıyla moda tasarımcılarına geniş bir yaratıcı oyun alanı sunmaktadır. Moda ve estetikle birleşen deri, benzersiz koleksiyonlar oluşturmak için çeşitli olanaklar sağlamaktadır.

Deri, moda dünyasında doğallığı temsil ederken aynı zamanda çeşitli renk seçenekleriyle estetik çeşitlilik sunmaktadır. El işçiliğiyle hazırlanan deri ürünler, özgün desen ve dokularıyla tasarımlara benzersizlik katar. Ayrıca, derinin dayanıklılığı uzun ömürlü ve kaliteli tasarımların oluşturulmasına imkan tanımaktadır.

### Öneriler:

**Sürdürülebilir Deri Üretimi:** Moda endüstrisi, sürdürülebilirlik konusunda daha fazla adım atmaya yönelmelidir. Sürdürülebilir deri üretimi, çevresel etkileri azaltarak sektörde daha etik bir yaklaşımı teşvik eder.

**Teknoloji ile Entegrasyon:** Deri tasarımları, günümüz teknolojisiyle en-

tegre edilerek fonksiyonelliği artırabilir. Akıllı tekstiller veya giyilebilir teknoloji, deri ürünlerini daha işlevsel hale getirebilir.

**Sanat ve Moda İşbirliği:** Moda dünyası, sanatla daha fazla işbirliği yaparak estetik açıdan zenginleşebilir. Sanatçılarla yapılan işbirlikleri, deri tasarımlarına benzersiz ve sanatsal bir dokunuş katabilir.

**Çeşitli Koleksiyon Temaları:** Tasarımcılar, deriyi farklı temalara uygun olarak kullanarak çeşitli koleksiyonlar oluşturabilirler. Derinin esnek kullanımı, farklı mod ve tarzlara hitap eden tasarımların önünü açar.

**Eğitim ve Farkındalık:** Moda tasarımcıları ve tüketiciler, sürdürülebilir deri kullanımı, etik üretim ve çeşitlilik konularında eğitilmelidir. Bilinçli tercihler, sektörde daha pozitif değişikliklere yol açabilir.

Moda endüstrisi, deri ve deri ürünlerinin potansiyelini değerlendirerek hem estetik değerini artırabilir hem de daha sürdürülebilir ve etik uygulamalara odaklanabilir.

## KAYNAKÇA

- Akyüz, F. (2023). Sürdürülebilir Bir Deri Sanayi. Turkchem Chemical Laboratory Technologie. Mayıs-Haziran, 26-30.
- Basak, R. (2020). Sprezzatura: Moda, Müzik ve Resimde Sanatsallığı Gizleme Sanatı. Art-e Sanat Dergisi. 13(26), 544-575.
- Berber, G. Ş., Keskin, E. (2021). Sürdürülebilir Modada Güncel Bir Yaklaşım: Vegan Deri. Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi. 7(2), 143-157.
- Berkkam, G. (2009). 20. yy' da Sinemanın Tekstil Modasına Etkileri. Marmara Üniversitesi. Güzel Sanatlar Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Çınar, N., Tozun, H. (2020). Kültürel Miras Bağlamında Derilerin Fiziksel Özellikleri ve Ham Derinin İşlenmesi. Sanat Tarihi Dergisi. 29(2), 371-397.
- Emeksiz, N. O. I., Akyüz, F. (2023). Deri Sanayine Ekolojik Bir Bakış. Doğa ve Mühendislik Bilimlerinde Güncel Tartışmalar 12. BİDGE Yayınları. 103-116.
- Erdoğan, D. İ. (2011). Bir Moda Tasarımcısının Koleksiyon Hazırlama Süreci ve Simay Bülbül Örneği. Anadolu Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Ertürk, N. (2011). Moda Kavramı, Moda Kuramları ve Güncel Moda Eğilimi Çalışmaları. Art-e Sanat Dergisi. 4(7), 1-32.
- Enes, Ö. (2022). Kendin Yap (Do It Yourself/DIY) Akımının Punk Alt Kültüründeki Giyim ve Aksesuarlar Bağlamında İncelenmesi. Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi. 12(1), 395-412.
- Fıçıcıoğlu, A. (2021). Japonya Moda Kimliğinde Kültürel İzler. Akdeniz Sanat. 15(28), 207-226.
- Gökçe, S. (2015). Sanatsal Yaratma Sürecinde Estetik Kaygının İşlevi. Pamukkale Üniversitesi. Eğitim Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.
- İmre, H. M. (2016). Tarihsel Gelişim İçerisinde İnsan, Moda, Ayakkabı İlişkisi. Uluslararası Kültürel ve Sosyal Araştırmalar Dergisi. 2 (Special Issue 1), 189-204.
- Karaman, D. G., Akyüz, F. (2015). Ayakkabı Üretimi ve Pazarlamada Yeni Bir Yöntem Olarak "Tasarla-Satınal" Uygulama Örnekleri. Uluslararası Hakemli Pazarlama ve Pazar Araştırmaları Dergisi. Sayı:5. 24-41.
- Karaoğlu, H. (2021). Deri ve Örgünün Sürdürülebilir Giysi Tasarımlarında Kullanılması (Yelek Örneği). International Journal of Cultural and Social Studies. 7(1), 17-32.
- Kula, M. (2006). Türk Moda Giyim Endüstrisinde Deri Tasarımların Gelişim ve Değişim Parametreleri Üzerine Bir Araştırma. Dokuz Eylül Üniversitesi. Güzel Sanatlar Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Kurtipek, A., Akbulut, D. (2021). At Binicilik Takımlarının Motosiklet Kültürü Üzerindeki Yansımaları. Kültür Araştırmaları Dergisi. (8), 155-174.
- Meltem, O. K. (2020). Metal Müziğin Giyim Modasına Etkisi. Kesit Akademi Dergisi. 6(25), 211-224.

- Şenel, E. (2013). 1945'ten Günümüze Batı Toplumlarında Sanat ve Moda Etkileşimi. Necmettin Erbakan Üniversitesi. Eğitim Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Şevkay, I., Bayburtlu, İ. I. (2020). Sürdürülebilirlik Bağlamında İnovatif Yaklaşımlar ve Modüler Giyim Tasarımı. Yıldız Journal of Art and Design. 7(2), 150-176.
- Teke, A. A. (2022). Deneysel Giysi Tasarımında Biyomateryallerin Olanakları. Marmara Üniversitesi. Güzel Sanatlar Enstitüsü. Doktora Tezi.
- Tuna, C. (2013). Sanatsal Tekstiller, Giyilebilir Sanat ve Moda Olgusu. 1. Uluslararası Sanat, Tasarım ve Manipülasyon Sempozyumu Bildiri Kitabı. Sakarya, Sakarya Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi. 47-50.
- Yüksel, N. (2019). 20. Yüzyıldan Günümüze Topuklu Kadın Ayakkabılarında Tekstil Kullanımı. Marmara Üniversitesi. Doktora Tezi.

### **İnternet Kaynakları**

- Fashionbeans. (2024). <https://www.fashionbeans.com/article/western-cow-boy-trend-menswear/>. Erişim tarihi: 07.03.24.
- Realmen. (2024). <https://www.realmenrealstyle.com/western-boots-information/>. Erişim tarihi: 29.02.24.
- Reddit. (2024). [https://www.reddit.com/r/punk/comments/gzbmb8/that\\_sompost\\_punk\\_leather\\_jacket\\_is\\_well\\_impressive/?rdt=41893](https://www.reddit.com/r/punk/comments/gzbmb8/that_sompost_punk_leather_jacket_is_well_impressive/?rdt=41893). Erişim tarihi: 05.03.24.
- Thejacketspot. (2024). <https://medium.com/@thejacketspot/mens-biker-leather-jacket-guide-556b70b1b2cd>. Erişim tarihi: 06.03.24.
- Yxtocs. (2024). <https://www.yxtocs.top/ProductDetail.aspx?iid=512574327&pr=82.88>. Erişim tarihi: 01.03.2024.
- Whisty. (2024). <https://whisty.files.wordpress.com/2009/12/elvis-presley-68-comeback-leather-outfit.jpg>. Erişim tarihi: 03.03.24.

# BÖLÜM 9

## **OTOMOTİV ÜRETİM SÜRECİNDE ORTAYA ÇIKAN ÇEVRE SORUNLARININ BELİRLENMESİ**

*Hazal ONAT<sup>1</sup>  
Güray SALİHOĞLU<sup>2</sup>*



<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa, Türkiye hzlkpdn@gmail.com

<sup>2</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü 16059, Bursa, Türkiye gurays@uludag.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Otomotiv sektörü, büyüklüğü ve etki alanı açısından en önemli sanayi dallarından biri olarak kabul edilmektedir. Bu sektör, binek otomobil, otobüs, minibüs, midibüs, çekici, kamyon, traktör gibi karayolu taşıt araçlarının yanı sıra bu araçların üretiminde kullanılan parçaları üreten bir sanayi dalıdır. Otomobil kültürü, son yüz yılda dünya geneline yayılarak küresel ekonomiyi etkilemiş ve toplum yaşantısında önemli değişikliklere neden olmuştur. Otomotiv sanayii, yarattığı katma değer, istihdama olan katkı ve teknolojik gelişmeye öncülük etme gibi faktörler nedeniyle ülkelerin kalkınmasında kilit bir rol oynamaktadır. Bu sektör, demir-çelik, petro-kimya, dokuma, cam, boya, elektrik ve elektronik gibi birçok sektörden girdi alarak geniş bir tedarik zinciri oluşturmaktadır. Aynı zamanda, pazarlama, tamir, bakım, yedek parça satışları, finansman ve sigortacılık gibi hizmetlerle ilgili geniş bir iş hacmi yaratmasıyla ekonomiler üzerinde sürükleyici bir etkiye sahiptir (Chiaberge, 2011; Mitchell vd., 2010).

1990'lı yıllardan itibaren endüstriyel küreselleşme, otomotiv endüstrisinin dünya genelinde daha karmaşık ve entegre bir hale gelmesine neden olmuştur. Uluslararası iş birlikleri, tedarik zinciri entegrasyonu ve global pazarlara açılma, sektörün büyümesini desteklemiştir. Yaygınlaşan otomotiv endüstrisinin sonraki yıllarda yerel ve küresel ölçekte önemli çevresel etkilerinin olduğu, otomobil kullanımı ile birlikte su ve enerji kaynaklarının tüketilmesine, hava, su ve toprak kirliliğine yol açmasına ve özellikle tehlikeli atıkların çokça meydana gelmesine neden olduğu belirlenmiştir (Tenikler, 2007).

Firmalar, üretim süreçlerinde daha etkili ve çevre dostu yöntemleri benimsemeye, enerji ve kaynak kullanımını optimize etmeye, atık yönetimini geliştirmeye ve karbon ayak izlerini azaltmaya yönelik çeşitli stratejiler geliştirmektedirler. Firmaların temiz üretim çalışmalarına odaklanmalarının temel nedeni, doğal kaynak kullanımını minimize etmek, enerji ve su kaynaklarının kullanımını azaltmak, atık oluşumunu en aza indirmek veya tamamen ortadan kaldırmak için teknoloji arayışında olmalarıdır. Bu çabalar, üretim süreçlerinin her aşamasını kapsayacak şekilde hammadde girişinden ürünün bertarafına kadar tüm süreci değerlendirme ve optimizasyon çalışmalarını içermektedir. Günümüzde işletmelerdeki üretim faaliyetlerinin çevresel etkileri değerlendirilirken genellikle yaşam döngüsü bakış açısı kullanılmaktadır (Demirer, 2008).

Türkiye'de 1996 yılında, Otomotiv Sanayi Derneği (OSD) bünyesinde kurulan Çevre Komitesi, 17 firmanın katılımıyla çevre konusundaki çalışmalarını koordineli bir şekilde yürütmeye başlamıştır (Kaplan, 2002). Ülkemizde faaliyet gösteren uluslararası otomotiv işletmeleri, örneğin AIOS (Anadolu Isuzu Otomotiv Sanayi ve Ticaret A.Ş.), BMC Sanayi ve Ticaret A.Ş., FORD



OTOSAN, HONDA, HYUNDAI ASSAN, KARSAN, MERCEDES-BENZ, OYAK-RENAULT, TOFAŞ, TOYOTA, TÜRK TRAKTÖR gibi şirketler, çevreye duyarlı yönetim anlayışını benimsemekte ve bu doğrultuda standartları uygulamaktadır. Bu çabalar, Türkiye'deki otomotiv yan sanayisinin de çevre dostu üretim ve yönetim anlayışını benimsemesini zorunlu kılmaktadır (Üstünişik, 2014).

Çalışma kapsamında otomotiv endüstrisinin üretim ve kullanım aşamalarındaki çevresel etkiler değerlendirilmiş ve bu etkileri azaltmaya yönelik ülkemizde yapılan çalışmalar incelenmiştir.

## 2. OTOMOTİV SEKTÖRÜNÜN DÜNYADAKİ DURUMU

Otomobilin icadı ve endüstriyel üretiminin başlaması, 19. yüzyılın sonlarına ve 20. yüzyılın başlarına dayanmaktadır. Otomotiv endüstrisi daha sonra dünya genelinde yayılarak güç kazanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri, Japonya, Güney Kore ve diğer birçok ülke, kendi otomotiv endüstrilerini geliştirerek küresel pazarda önemli oyuncular haline gelmiştir (Yılmaz, Taştan, Ecek ve Çınar, 2017).

Otomotiv sanayisi tarihi, Almanya ve Fransa gibi Avrupa ülkelerinin öncülüğünde başlamış, ancak özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde güçlenmiş ve büyük bir gelişim göstermiştir. Otomotiv endüstrisi, başlangıçta sadece bireysel otomobil üretimine odaklanmış olsa da, zamanla ticari araçlar, kamyonlar, otobüsler gibi çeşitli araçları da içine almıştır. Bu dönem içinde teknolojik gelişmeler, güvenlik standartları, yakıt verimliliği gibi konularda sürekli bir değişim ve gelişim yaşanmıştır. İki dünya savaşı sırasında otomotiv endüstrisi savaş ihtiyaçları doğrultusunda büyük bir değişime uğramıştır. Savaş sonrasında ise ekonomik canlanma ile birlikte otomobil talebinde artış yaşanmıştır. Bu süreç, otomotiv endüstrisinin küresel bir boyut kazanmasına da neden olmuştur. Bugün, dünyanın dört bir yanındaki ülkelerde otomotiv endüstrisi büyük bir ekonomik öneme sahiptir (Bayrakçeken, 2005).

Tablo 1'de görüldüğü gibi dünya sıralamasında 14. otomotiv üreticisi ülke olma başarısını gösteren Türkiye otomotiv endüstrisi, ürettiği otomotiv ürünlerin %77'sini ihraç ederek, sektörel bazda %17'lik ihracat büyüklüğü ile Türkiye'nin ihracat alanındaki en büyük sektörü olmayı başarmaktadır (OICA, 2024).

Tablo 1. Ülkeler Bazında Dünya Otomobil Üretimi (İlk 20 Ülke, Milyon adet)

Ülke	2000			2010			2017			2020		
	Üretim	Sıra	P.Payı	Üretim	Sıra	P.Payı	Üretim	Sıra	P.Payı	Üretim	Sıra	P.Payı
Çin	2.1	8	3.5%	18.3	1	23.5%	29.0	1	29.8%	25.2	1	32.5%
ABD	12.8	1	21.9%	7.7	3	10.0%	11.2	2	11.5%	8.8	2	11.4%
Japonya	10.1	2	17.4%	9.6	2	12.4%	9.7	3	10.0%	8.1	3	10.4%
Almanya	5.5	3	9.5%	5.9	4	7.6%	5.6	4	5.8%	3.7	4	4.8%
Güney Kore	3.1	5	5.3%	4.3	5	5.5%	4.1	6	4.2%	3.5	5	4.5%
Hindistan	0.8	15	1.4%	3.6	6	4.6%	4.8	5	4.9%	3.4	6	4.4%
Meksika	1.9	9	3.3%	2.3	9	3.0%	4.1	7	4.2%	3.2	7	4.1%
İspanya	3.0	6	5.2%	2.4	8	3.1%	2.8	8	2.9%	2.3	8	2.9%
Brezilya	1.7	12	2.9%	3.4	7	4.4%	2.7	9	2.8%	2.0	9	2.6%
Rusya	1.2	13	2.1%	1.4	14	1.8%	1.6	15	1.6%	1.4	10	1.8%
Tayland	0.4	19	0.7%	1.6	12	2.1%	2.0	12	2.0%	1.4	11	1.8%
Kanada	3.0	7	5.1%	2.1	13	2.7%	2.2	11	2.3%	1.4	12	1.8%
Fransa	3.3	4	5.7%	2.2	10	2.9%	2.2	10	2.3%	1.3	13	1.7%
<b>Türkiye</b>	<b>0.4</b>	<b>17</b>	<b>0.7%</b>	<b>1.1</b>	<b>16</b>	<b>1.4%</b>	<b>1.7</b>	<b>14</b>	<b>1.7%</b>	<b>1.3</b>	<b>14</b>	<b>1.7%</b>
Çek Cum.	0.5	17	0.8%	1.1	17	1.4%	1.4	17	1.5%	1.2	15	1.5%
İngiltere	1.8	10	3.1%	1.4	15	1.8%	1.7	13	1.8%	1.0	16	1.3%
Slovakya	0.2	30	0.3%	0.6	20	0.7%	1.0	20	1.0%	1.0	17	1.3%
İran	0.3	27	0.5%	1.6	11	2.1%	1.5	16	1.6%	0.9	18	1.1%
İtalya	1.7	11	3.0%	0.8	18	1.1%	1.1	19	1.2%	0.8	19	1.0%
Endonezya	0.3	25	0.5%	0.7	19	0.9%	1.2	18	1.3%	0.7	20	0.9%
<b>İlk 20 Top.</b>	<b>54.2</b>		<b>92.9%</b>	<b>72.1</b>		<b>92.9%</b>	<b>91.8</b>		<b>94.3%</b>	<b>72.6</b>		<b>93.5%</b>
<b>Dünya Top.</b>	<b>58.4</b>		<b>100.0%</b>	<b>77.6</b>		<b>100.0%</b>	<b>97.3</b>		<b>100.0%</b>	<b>77.6</b>		<b>100.0%</b>

**Kaynak:** OICA Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers)/ Erişim adresi:<https://www.oica.net/category/production-statistics/> (Erişim tarihi: 22.02.2024).

### 3. OTOMOTİV SEKTÖRÜNÜN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

1950'lerin başlarından itibaren Türkiye'de otomotiv endüstrisiyle ilgili önemli gelişmeler yaşanmıştır. Türkiye'de otomotiv endüstrisinin temelleri, Koç Ticaret Şirketi'nin 1950'de Ford Motor Company ile montaj çalışmalarına başlamasıyla atılmıştır. Türkiye'de otomotiv endüstrisinin daha da gelişmesindeki önemli adımlardan biri, 1954 yılında Türk Willys Overland Ltd.'nin kurulmasıdır. Bu şirket, silahlı kuvvetler için binek arazi araçları ve kamyonet üretimine odaklanmıştır. Aynı dönemde, 1955 yılında kamyon montajı yapmak üzere Türk Otomotiv Endüstrisi A.Ş. bünyesinde kamyon fabrikası kurulmuş ve otomotiv yan sanayi ürünleri imalatı faaliyetleri hız kazanmıştır. 1958 yılında ithalat kotalarının sınırlandırılması ve özel montaj kotalarının uygulanmaya başlanmasıyla birlikte Türkiye'deki otomotiv endüstrisi daha fazla büyümeye başlamıştır. 1959'da ise Ford lisansı ile Otosan'ın kurulması, Türkiye'nin kendi otomobillerini üretme kapasitesini artırmıştır. 1960'lı yıllar, Türk otomotiv endüstrisi için önemli bir dönemi temsil etmektedir. Bu dönemde, Türk sanayisinin planlı kalkınma stratejileri çerçevesinde otomotiv endüstrisi de ciddi ilerlemeler kaydetmeye başlamıştır. Türkiye'nin planlı kalkınma süreci içerisinde, otomotiv endüstrisinin ana ve

yan sanayi kollarında gelişimi teşvik eden politikalar benimsenmiştir. Bu politikaların uygulanmasıyla birlikte, Türkiye otomotiv endüstrisi hem üretim kapasitesini artırmış hem de teknolojik alanda ilerlemeler kaydetmiştir. Ana ve yan sanayi arasındaki iş birliği ve etkileşim, sektörün daha da güçlenmesine katkı sağlamıştır. Bu dönemde atılan temel adımlar, Türkiye'nin otomotiv endüstrisini güçlendirmiş ve sektörün sürdürülebilir bir şekilde büyümesine olanak tanımıştır (Yaşar, 2013).

1980'li yıllara kadar, otomotiv sanayisi iç pazara yönelik bir gelişim izleyerek ithal ikameci bir politika benimsemiştir. Bu dönemde, otomotiv endüstrisi dış rekabete kapalı bir tutum sergilemiş, ölçek ekonomilerinden yeterince faydalanamamış, uluslararası arenada rekabet avantajları elde etmekte zorlanmış ve teknolojik açıdan düşük seviyede üretim gerçekleştirmiştir. Ancak, 1980'li yıllarda Türkiye'de benimsenen liberal ekonomi politikaları çerçevesinde otomotiv sektörü dışa açılmış, modern teknoloji kullanımını teşvik ederek ekonomik ölçeklerde üretim yapma hedefi konmuş ve uluslararası rekabet gücü elde etme amacı güdülmüştür. Bu dönemde, yüksek koruma oranları, düşük banka faizleri ve sektöre yapılan önemli yatırımların etkisiyle kısa vadeli bir üretim artışı sağlanmıştır. Ancak, uzun vadede istenen artış seviyesine ulaşılamamıştır (Elmas, 2011).

Bugün gelinen noktada Türkiye otomotiv sektörü, üretim ve pazarlama alanlarında küresel entegrasyonu büyük oranda tamamlamıştır. Otomobil sanayisinin önem kazanması ile yerli üretime başlayan ana sanayi 1964 yılında %15'lik bir oranda yerli imalat yapmaktayken günümüzde bakıldığında %85'lik orana ulaştığı görülmektedir (Anonim 2003). Üretimde kalite yönetimi ve verimlilik konusundaki yetkinliğini kanıtlamış, küresel ve gelişmiş pazarlara yönelik ihracat ile başarısını sürdürmüştür. Türkiye otomotiv sektöründeki üretim yöntemleri ve teknolojiler, uluslararası düzeyde ana firmaların kullandıkları yöntem ve teknolojilere eşdeğer konuma gelmiştir.

Uludağ Otomotiv Endüstrisi İhracatçıları Birliği (OİB) verilerine göre, Türkiye otomotiv endüstrisi 2023 yılında bir önceki seneye kıyasla %13 artışla 35 milyar dolar ihracat gerçekleştirerek tüm zamanların rekoruna ulaşmıştır. Geçen yılı ülke ihracatının da lideri olarak tamamlayan sektörün payı ise %15,8 olmuştur. Sektör, aralık ayında da %1,1 artışla 3 milyar 176 milyon dolar ihracat yaparken yine ilk sırada yer almıştır (Uludağ İhracatçı Birlikleri [UİB], 2024).

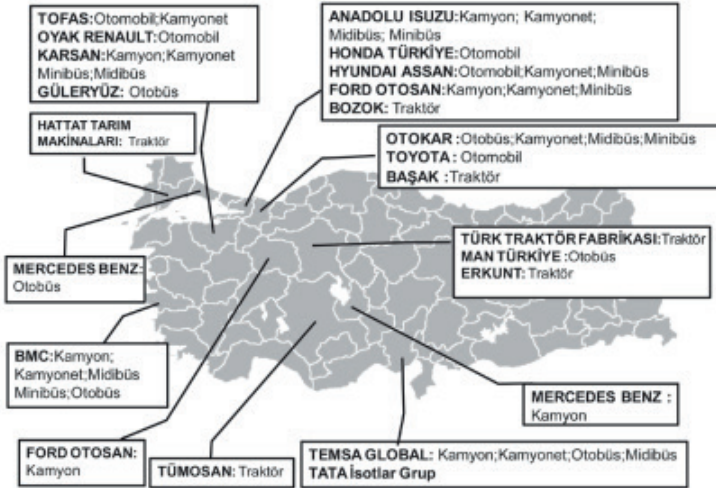
Tablo 2'de Türkiye'de Otomotiv Sanayi Firmaları Hakkında Genel Bilgiler verilmektedir.

FİRMALAR Firms	ÜRETİM YERİ The Production Place	ÜRETİME BAŞLAMA TARİHİ Starting Year Of Production	LİSANS	Licence	SERMAYE Capital (1000 YTL)	YABANCI SERMAYE Foreign Cap. (%)	KAPALI ALAN Covered Area (1.000 M2)	TOPLAM ALAN Total Area (1.000 M2)
A.I.O.S.	KOCAELİ	1966	ISUZU		84.000	29,73	102	299
FORD OTOSAN	ESKİŞEHİR GÖLCÜK/KOCAELİ YENİKÖY/KOCAELİ	1.982 2001 2014	FORD		350.910	41,04	119 340 110	1.124 720 636
HATTAT TRAKTÖR	TEKİRDAĞ	2002	VALTRA, HATTAT		40.000	0	45	182
HYUNDAI ASSAN	KOCAELİ	1997	HYUNDAI MOTOR COMP.		627.235	97	128	692
KARSAN	BURSA	1966	KARSAN, HYUNDAI MOTOR COMP., MENARINI BUS, RENAULT MEGANE		900.000	0	110	230
M.A.N. TÜRKİYE	ANKARA	1966	MAN TRUCK & BUS SE		65.000	99,9	111	317
M.BENZ TÜRK	İSTANBUL AKSARAY	1968 1985	MERCEDES BENZ		278.501	84,99	294 157	565 696
OTOKAR	SAKARYA	1963	OTOKAR		24.000	0	144	561
O.RENAULT	BURSA	1971	RENAULT		323.381	51	349	732
TEMSA	ADANA	1987	SKODA B.V. EXSA EXPORT		510.000	50	115	510
TOFAŞ	BURSA	1971	FIAT		500.000	37,8	410	978
TOYOTA	SAKARYA	1994	TOYOTA		150.165	100	228	917
T.TRAKTÖR	ANKARA SAKARYA	1954 2014	NEW HOLLAND / CASE IH		53.369	37,5	82 69	257 402
			TOPLAM/Total		3.906.561		2.913	9.818

Tablo 2. Otomotiv Sanayi Firmaları Hakkında Genel Bilgiler

**Kaynak:** OICA Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers)/ Erişim adresi:<https://www.oica.net/category/production-statistics/> (Erişim tarihi: 22.02.2024).

Şekil 1'de Otomotiv Sanayi Derneği tarafından hazırlanmış olan illerdeki otomotiv firmaları dağılım haritası gösterilmektedir. Marmara bölgesinde otomotiv firmaları yoğunlaşmış olup, üretimin %85'i bu bölgeden sağlanmaktadır.



Şekil 1. Türkiye otomotiv sanayi firmaları bölgesel dağılımı (Pişkin, 2017).

Tablo 3. Otomotiv Sanayi Firmalarının 2023 Yılı Üretim Kapasiteleri

FİRMALAR Firms	OTOMOBİL P.Car	KAMYON Truck	KAMYONET Pick Up	OTOBÜS Bus	MINİBÜS Mini-Bus	MİDİBÜS Midi-Bus	TRAKTÖR F. Tractor	TOPLAM Total
A. ISUZU	0	8.000	7.300	1.152	0	2.560	0	19.012
FORD OTOSAN	30.000	15.000	330.000	0	80.000	0	0	455.000
HATTAT TRAKTÖR	0	0	0	0	0	0	25.000	25.000
HYUNDAI ASSAN	245.000	0	0	0	0	0	0	245.000
KARSAN	0	0	43.200	5.670	8.220	2.700	0	59.790
M.A.N. TÜRKİYE	0	0	0	3.900	0	0	0	3.900
M. BENZ TÜRK	0	21.800	0	4.500	0	0	0	26.300
OTOKAR	0	0	4.300	1.300	1.500	2.500	0	9.600
O. RENAULT	378.000	0	0	0	0	0	0	378.000
TEMSA	0	6.000	0	2.500	0	2.000	0	10.500
TOFAŞ	218.000	0	232.000	0	0	0	0	450.000
TOYOTA	280.000	0	0	0	0	0	0	280.000
T. TRAKTÖR	0	0	0	0	0	0	50.000	50.000
<b>TOPLAM/Total</b>	<b>1.151.000</b>	<b>50.800</b>	<b>616.800</b>	<b>19.022</b>	<b>89.720</b>	<b>9.760</b>	<b>75.000</b>	<b>2.012.102</b>

**Kaynak:** OICA Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers)/ Erişim adresi:<https://www.oica.net/category/production-statistics/> (Erişim tarihi: 22.02.2024).

Tablo 3'te 2023 yılı içerisinde Türkiye'deki üretim kapasiteleri verilmektedir. Türkiye'de otomobil üretiminde en çok üretim yapan ana sanayi firması Renault, ardından Tofaş gelmektedir. En az otomobil üretimi yapan ana sanayi firması ise Ford Otosan'dır. Tüm kategorilerdeki araç üretim kapasiteleri dikkate alındığında, 455.000 adet araç üretimi ile Ford Otosan'ın ilk sırada yer aldığı belirtilmektedir. 2023 yılında tüm ana sanayi üretimi dikkate alındığında ise toplamda 2.012.102 adet otomobil üretildiği ifade edilmektedir (OSD, 2023).

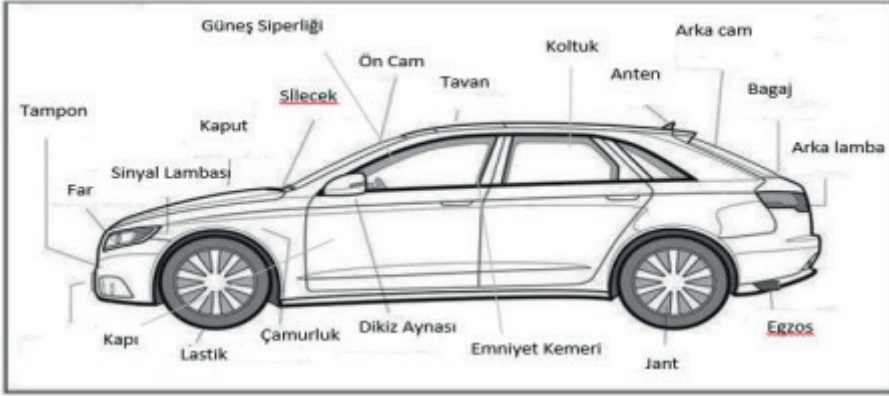
#### 4. OTOMOTİV ÜRETİM SÜRECİ

Motorlu taşıtları üreten sanayi "Otomotiv Ana Sanayi" ve "Otomotiv Yan Sanayi" olarak iki kola ayrılmaktadır. Bu iki ana kategori arasındaki iş birliği ve etkileşim, otomotiv endüstrisinin bütünlüğünü sağlar. Otomotiv Ana Sanayi, üretim süreçlerini yönetirken, Otomotiv Yan Sanayi, özelleşmiş becerilere sahip olarak ana üreticilere çeşitli parçalar ve bileşenler sağlar. Bu iş birliği, otomobil ve ticari araç üretim sürecinin verimli ve kaliteli olmasına katkıda bulunur. Otomotiv yan sanayi firmalarının, bazı mamuller dışındaki tüm parçaları içeren ürün gamı, ülkemizde imal edilen taşıt araçlarının yüzde 85-90 oranında yerli imal edilmesine imkân verecek çeşitliliktedir (Pişkin, 2017). İmal edilen başlıca ürün gruplarını aşağıdaki şekilde sınıflandırmak mümkündür:

- Komple motor ve motor parçaları
- Aktarma organları
- Fren sistemleri ve parçaları
- Hidrolik ve pnömotik aksamlar
- Süspansiyon parçaları

- Emniyet aksamaları
- Kauçuk ve lastik parçalar
- Şasi aksam ve parçaları
- Dövme ve döküm parçalar
- Elektrik ekipmanları ve aydınlatma sistemleri
- Akü
- Oto camları
- Koltuklar

Şekil 2’de standart bir araç içinde otomotiv yan sanayi firmaları tarafından üretilen parçalar gösterilmektedir.



Şekil 2. Standart Bir Araç İçinde Otomotiv Yan Sanayi Firmaları Tarafından Üretilen Parçalar

Otomotiv sektöründe genellikle dört ana üretim prosesi bulunmaktadır:

### 1. Pres

Otomotiv sektöründe pres prosesi, motorlu kara taşıtlarının üretim sürecinin ilk adımını oluşturmaktadır. Pres işlemi, otomobil parçalarının sacdan şekillendirilmesini içermektedir. Sac malzeme, özel pres makineleri kullanılarak kalıplara yerleştirilmekte ve belirli bir form kazanması sağlanmaktadır. Bu aşama, kaporta parçaları gibi otomobilin dış görünümünü belirleyen önemli parçaların üretimini içermektedir.

## 2. Kaynak

Kaynak prosesi, otomobil parçalarının birleştirilmesini içermektedir. Genellikle robotlar tarafından kontrol edilen otomatik kaynak makineleri kullanılmaktadır. Bu aşama, aracın şasisi ve diğer strüktürel bileşenlerin birleştirilmesini içermektedir.

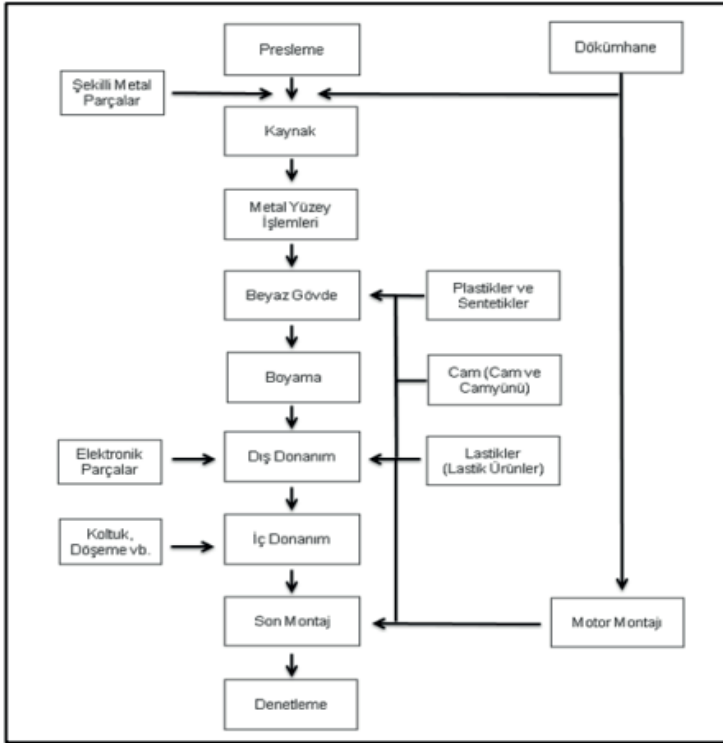
## 3. Boya

Boya prosesi, otomobilin dış yüzeyine renk ve koruma katmanı eklenmesini içermektedir. Bu aşama temizleme, astar uygulama, renk uygulama ve cilalama adımlarını içermektedir. Otomobil parçaları, genellikle elektrostatik spreyci veya daldırma teknikleri kullanılarak boyanmaktadır.

## 4. Montaj

Montaj aşaması, tüm parçaların birleştirildiği ve otomobilin tamamlandığı aşamadır. Motor, şasi, iç aksam ve dış kaplamalar bu aşamada birleştirilmektedir. Montaj hattı genellikle konveyör bantları ve robotlar gibi otomatik sistemleri içermektedir.

Sektöre ilişkin proses akış şeması Şekil 3' te verilmiştir.



Şekil 3. Otomotiv Sektörü Proses Akış Şeması (TCÇŞB, 2017).



## 5. OTOMOTİV ÜRETİMİNDE ÇEVRE SORUNLARI

Otomotiv sektörünün çevresel etkileri oldukça geniş bir perspektiften değerlendirilebilmektedir. Bu etkiler, üretim süreçleri, araçların kullanımı ve atık yönetimi gibi farklı aşamalarda ortaya çıkmaktadır. Otomotiv sektöründeki çevresel etkilerin bazı önemli boyutları aşağıdaki gibidir:

### I. Üretim Aşaması:

- **Hammadde kullanımı:** Otomobil üretimi için büyük miktarda metal, plastik, cam ve diğer malzemelerin kullanılması doğal kaynakların tükenmesine neden olmaktadır.
- **Enerji tüketimi:** Otomobil üretimi, enerji yoğun bir süreçtir. Fosil yakıtların kullanılması, sera gazları emisyonlarına yol açmaktadır.

### II. Kullanım Aşaması:

- **Yakıt tüketimi ve emisyonlar:** Otomobillerin fosil yakıtlarla çalışması, atmosfere karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gibi sera gazlarının salınımına neden olmaktadır.
- **Hava ve gürültü kirliliği:** Motorlu taşıtların egzoz emisyonları, hava kalitesini düşürmektedir. Ayrıca, trafikten kaynaklanan gürültü kirliliği de çevresel bir etkidir.

### III. Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm:

- **Otomobil hurda ve atıkları:** Otomobillerin ömrü bittiğinde ortaya çıkan hurda ve atıkların uygun bir şekilde geri dönüştürülmemesi çevresel sorunlara yol açmaktadır.

Otomobil üreticileri üretimden kaynaklı emisyonlar ve atıklarla ilgili olarak her yıl Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na düzenli bildirimlerde bulunmaktadır. Taşıt araçlarından kaynaklanan emisyonlar, sıvı ve katı atıklar, karayolundaki ulaşımın önemli bir çevresel sorun kaynağıdır. Bu kapsamda, ekonomik ömrünü tamamlamış ve kullanılamaz hale gelmiş motorlu taşıtların, hurda ayrılması, geri dönüşümü ve uygun bir şekilde bertaraf edilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu atıkların etkili bir şekilde yönetilmesi, çevre kirliliğinin azaltılması, doğal kaynakların korunması ve sürdürülebilir bir taşıma sistemine geçiş için önem arz etmektedir. Ayrıca, bireysel araç kullanımının çevresel etkilerini azaltmak amacıyla yeşil teknolojilerin benimsenmesi, düşük emisyonlu araçların tercih edilmesi ve toplu taşıma sistemlerinin teşvik edilmesi gibi politikalar da bu alanda önemlidir (Buluç ve Yazıcı, 2013; Kaplan, 2002).

Otomotiv işletmelerinin üretim aşamasında kullandığı hammadde yelpazesi, su, enerji ve çeşitli kimyasal maddelerle birlikte oldukça geniş bir alana yayılmaktadır. Otomobil üretimi temel olarak metal şekillendirme, yüzey hazırlama ve yüzey finisajı olmak üzere üç ana proses içermektedir. Bu pro-



sesler sırasında kullanılan işlemler arasında metal kesme ve şekillendirme, ısı işlem uygulamaları, çözücü ile temizleme, asitleme ve elektro kaplama gibi adı geçmektedir. Bu işlemler sonucunda ortaya çıkan atıklar, katı, sıvı ve gaz formunda olup, bazıları tehlikeli atık kategorisine girmekte ve uygun bertaraf yöntemleri gerektirmektedir. Tablo 1’de Otomotiv endüstrisi tipik proses atıkları ve tipik kirleticiler verilmiştir (Demirer, 2008).

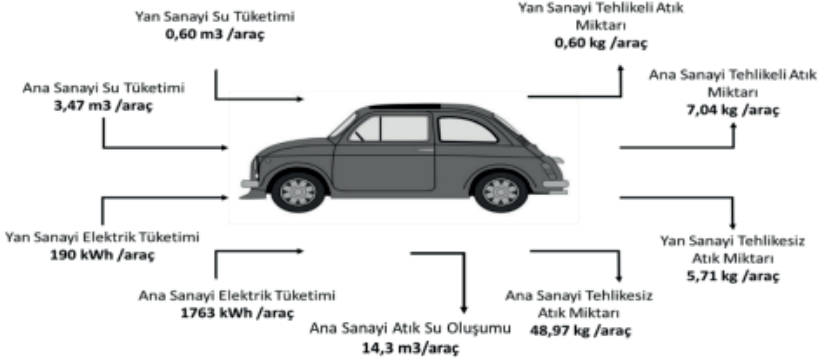
İşletmelerde oluşan atıklar arasında tehlikeli atıkların yanı sıra proses dışında ortaya çıkan evsel çöp atıkları, yemekhane atıkları, metal, naylon, plastik kutulu atıklar, ofis atıkları (kağıt-karton, cam), evsel atık sular, sulama ve yağmur suları, kalorifer ve kazan dairesi baca gazları gibi çeşitli atıklar da bulunmaktadır. Ayrıca, elektronik atıklar, florasan lamba atıkları, hurda akü atıkları, piller, araç hurda lastikleri ve tıbbi atıklar gibi daha tehlikeli sınıflara giren atıklar da dikkate alınmalıdır. Atıkların ayrıştırılması, geri dönüşümün sağlanması ve çevresel etkilerin azaltılması, aynı zamanda bertaraf maliyetlerini düşürme açısından önemlidir (Anonim, 2014). Ayrıca, işletmelerde sadece katı, sıvı ve gaz atıklarla sınırlı kalmayarak, ses (gürültü) kirlenmesinin de incelendiği belirtilmektedir. Çevresel etkilerin azaltılması ve sürdürülebilir bir üretim sürecinin sağlanması için atık yönetimi ve çevresel kirlilik konularına odaklanmak önemlidir (Gökçe, 2008). Tablo 4’te otomotiv endüstrisi tipik proses atıkları ve kirleticiler verilmiştir (Demirer, 2008).

Tablo 4. Otomotiv Endüstrisi Tipik Proses Atıkları Ve Kirleticiler

Proses	Materyal Girişi	Hava Emisyonları	Proses Atıkları	Diğer Atıklar
<b>Metal Şekillendirme</b>				
Metal kesme ve/veya şekil verme	Kesici yağlar, yağ alma ve temizlik çözücülerini, asitler ve metaller	Solvent atıkları (ör. trikloreten, aseton, ksilen, toluen, vb.)	Asit/Alkalin atıkları (örn. hidroklorik, sülfürik ve nitrik asit) ve atık yağlar	Metal atıkları (ör. bakır, krom ve nikel) ve solvent atıkları (örn. trikloreten, aseton, ksilen vb.)
Isıl işlem	Asit/alkalin solüsyonlar (ör. hidroklorik ve sülfürik asit), siyanür, tuzlar ve yağlar		Asit/alkalin atıkları, siyanür atıkları ve atık yağlar	Metal atıkları (ör. bakır, krom ve nikel)
<b>Yüzey Hazırlama</b>				
Solvent temizliği	Asit/alkalin temizleyiciler ve solventler	Solvent atıkları (ör. aseton, ksilen, toluen, vb.)	Asit/alkalin atıkları	Yanıcı atıklar, solvent atıkları (örn. trikloreten, aseton, ksilen, toluen, vb.)
Asitle temizlik	Asit/alkalin solüsyonlar		Asit/alkalin atıkları	Metal atıklar
<b>Yüzey Finisajı</b>				
Elektro kaplama	Asit/alkalin solüsyonlar, metal rulman ve siyanür rulman solüsyonları		Asit/alkalin atıkları, siyanür atıkları, kaplama atıkları ve atıksular	Metal atıkları, reaktif atıklar ve solvent atıkları

Kaynak: Demirer, G. N. (2008).

Üretim sırasında araç başına doğal kaynak kullanımına ve atık oluşumuna ait bilgilerin tamamı Şekil 4'te özetlenmiştir



Şekil 4. Türkiye Otomotiv Endüstrisi Ana Ve Yan Sanayi Üretimi Esnasında Kaynak Kullanımı Ve Atık Üretimi Seviyeleri (Erdoğan ve Salihoğlu, 2018).

Ülkemizde otomotiv endüstrisinin çevresel etkileri kontrol altına almak amacıyla bir dizi yönetmelik ve düzenleme bulunmaktadır. Bu düzenlemeler, atık yönetimi, emisyon kontrolü, su kirliliği kontrolü, gürültü yönetimi, enerji verimliliği ve tehlikeli maddelerin taşınması gibi çeşitli alanları kapsamaktadır (Katip, Karaer ve Özengin, 2014).

Uygulanan en temel yönetmelikler atıkların cinsine ve etki alanına göre şu şekilde sıralanabilir:

- “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”: İmalattan kaynaklanan katı atıkların yönetimini düzenlemektedir (Anonim, 2005a).
- “Ambalaj ve Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği”: Ambalaj malzemelerinin kullanımı ve geri dönüşümünü düzenlemektedir (Anonim, 2007).
- “Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”: Tehlikeli atıkların toplanması, taşınması, işlenmesi ve bertaraf edilmesi konularını düzenlemektedir (Anonim, 2005b).
- “Atık Yağların Kontrolü Yönetmeliği”: Kullanılmış yağların yönetimini ve bertarafını düzenler (Anonim, 2008).
- “Tıbbi Atıkların Kontrolü Yönetmeliği”: Sağlık kuruluşlarından kaynaklanan tıbbi atıkların yönetimini düzenlemektedir (Anonim, 2005c).
- “Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliği”: Motorlu taşıtlardan kaynaklanan gürültünün kontrolünü düzenlemektedir (Anonim, 2010).

- “Endüstriyel Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”: Emisyonların kontrolünü sağlamaktadır (Anonim, 2009).

- “Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği”: Evsel ve endüstriyel atık suların kontrolünü düzenlemektedir (Anonim, 2004).

- “Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği”: Elektrikli ve elektronik atıkların yönetimini düzenlemektedir (Anonim, 2012).

Otomotiv üretimi, çeşitli çevresel sorunlara neden olan karmaşık bir endüstri olup, bu sorunlar genellikle şu ana başlıklar altında incelenir:

### 5.1.1. Toprak ve Jeoloji

Otomotiv endüstrisinde kullanılan hidrolik ve mineral yağlar, endüstri kaynaklı atıklar arasında yer almaktadır. Bu yağların depolanması ve kullanımı sırasında oluşabilecek sızıntılar, kaçaklar toprak kirliliği riski içermektedir. Ön ve arka cam temizliğinde kullanılan asidik ve bazik bileşiklerin depolanması, kullanılmış benzinli motor, dizel motor, şanzıman ve diferansiyel atıkların depolanması sırasında oluşabilecek sızıntılar ve kaçaklar toprak kirliliği riskini arttırmaktadır. Ayrıca, kullanılmış benzin, mazot, dizel ve yağların toprağa sızması, toprak kirliliğine ve su kaynaklarının kontaminasyonuna yol açmaktadır (Ergüzel, 2013).

#### Oluşması Muhtemel Etkiler:

- Toprak Kirliliği: Dökülme sebebiyle oluşan sızıntılar, toprak kirliliğine neden olabilir.

- Yeraltı Suyu Kirliliği: Dökülme sebebiyle oluşan sızıntılar, yeraltı suyunun kirlenmesine sebep olabilir.

#### Alınması Gereken Önlemler:

- Alan Kaplaması: Kimyasal, yağ gibi malzemelerin kullanıldığı veya depolandığı alanlar uygun şekilde (örneğin beton gibi malzemelerle) kaplanmalıdır. Bu, olası dökülmelerin toprağa sızmasını önlemektedir.

- Düzenli Kontroller: Boru, tesisat ve diğer yapılar düzenli aralıklarla kontrol edilmeli ve bakımı yapılmalıdır. Bu, olası arızaların ve kaçakların önceden tespit edilmesine yardımcı olmaktadır.

- Acil Durum Müdahale Planları: Kaza, arıza, kaçak veya dökülme durumları için acil durum müdahale planları hazırlanmalıdır. Bu planlar, hızlı ve etkili bir şekilde müdahale edilmesini sağlar, çevresel etkilerin minimize edilmesine yardımcı olmaktadır (Ergüzel, 2013).

### 5.1.2. Gürültü ve Titreşim

Büyük şehirlerdeki motorlu taşıtlardan kaynaklanan gürültü kirliliği, çeşitli faktörlerin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan bir sorundur. Lastiklerin

yol ile sürtünmesi sırasında oluşan sesler, özellikle yoğun trafikte ve düzensiz yollarda daha belirgin hale gelmektedir. Bu tür gürültü, genellikle aracın hızına ve yol yüzeyinin durumuna bağlı olarak değişmektedir. Yüksek hızlarda seyreden araçların pencereleri, gövdesi ve diğer yapısal elemanları, hava akımının yarattığı gürültüyü iletir. Bu özellikle otomobil tasarımı ve aerodinamik özellikleri ile ilişkilidir. Araçların ani hızlanmaları, yüksek devirli motor kullanımları ve egzoz sisteminden çıkan sesler, şehir içinde motorlu taşıtların yarattığı gürültü kirliliğine önemli katkılarda bulunmaktadır (Marangoz, 2004).

#### **Oluşması Muhtemel Etkiler:**

- Çevresel Gürültü: Montaj aşamasında kullanılan makinelerden kaynaklanan gürültü, çevresel gürültü seviyelerini artırabilir ve çevredeki insanlar üzerinde olumsuz etkilere yol açabilir.

#### **Alınması Gereken Önlemler:**

- Akustik Muhafaza: Kullanılan makineler için akustik muhafaza sağlanabilir. Bu muhafaza, makinelerden yayılan gürültünün azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

- Akustik İyileştirmeler: Makinelerin bulunduğu mekan akustik olarak düzenlenebilir. Bu, gürültüyü absorbe eden veya yansıtan malzemelerin kullanılmasıyla sağlanmaktadır.

- Gürültülü Alanların İşaretlenmesi: Gürültülü alanlar, işaretler veya uyarı levhaları ile belirtilmelidir.

Avrupa Birliği (AB), motorlu taşıtlardan kaynaklanan gürültü kirliliği konusunu çevre mevzuatı çerçevesinde ele almaktadır. Bu amaçla, 1970 yılında çıkarılan ve daha sonra revize edilen 70/157/EEC sayılı “Motorlu araçların izin verilen gürültü seviyesi ve egzoz sistemine ilişkin üye devletlerin mevzuatlarının yakınlaştırılmasına ilişkin Direktif,” motorlu taşıtların gürültü emisyonlarını düzenlemek ve standartlaştırmak amacıyla temel bir düzenleme sağlamaktadır (Tablo 5).

Tablo 5. AB'de araç kategorilerine göre gürültü sınır değerleri

Araç kategorileri	Gürültü sınır değerleri- dB (A)
1.Sürücü koltuğu dahil en fazla 9 oturma yeri olan, yolcu taşıma araçları	74
2.Sürücü koltuğu dahil 9'dan fazla oturma yeri olan ve izin verilen azami ağırlığı 3,5 tonun üzerinde olan yolcu taşıma araçları:	78
2.1.Motor gücü 150/ kW'ın altında olan araçlar	80
2.2.Motor gücü 150/kW ya da üzerinde olan araçlar	
3. Sürücü koltuğu dahil 9'dan fazla oturma yeri olan yolcu taşıma araçları ve yük taşıtları:	76
3.1.İzin verilen azami ağırlığı 2 tonu aşmayan araçlar	77
3.2.İzin verilen azami ağırlığı 2 tondan fazla, 3,5 tondan az olan araçlar	
4.İzin verilen azami ağırlığı 3,5 tonun üzerinde olan yük araçları:	77
4.1.Motor gücü 75 kW'nin altında olan araçlar	78
4.2.Motor gücü en az 75 kW üstünde ve 150 kW altında olan araçlar	80
4.3.Motor gücü 150 kW ya da üzerinde olan araçlar	

Kaynak: Katip, A., Karaer, F. ve Özengin, N., (2014)

### 5.1.3. Hava Kalitesi

Küresel ısınmanın ana nedenlerinden biri olan sera gazı emisyonları, özellikle fosil yakıtların kullanımı ve ormanların tahribatı ile ilişkilidir. Türkiye'deki CO2 salınımının % 42'si sanayiden, % 30'u konutlardan, % 20'si ulaşımdan, % 5'i tarımdan ve % 3'ü enerji dışı tüketimden kaynaklanmaktadır. Motorlu araçlardan kaynaklanan hava kirliliğinin toplam hava kirliliğine oranı, ABD'de % 40, Almanya'da % 47, Türkiye'de ise İstanbul'da yapılan çalışmada % 72 olarak belirlenmiştir. Egzozlardan havaya salınan kirlilik maddeleri arasında kükürt dioksit (dizel motorlarda), karbon monoksit, hidrokarbonlar, azot oksitler ve kurşun bulunmaktadır. Bu maddelerin atmosfere salınması, hava kalitesini olumsuz etkileyerek çevresel sorunlara ve insan sağlığına zarar vermektedir (Marangoz, 2004). Tablo 6'da motorlu taşıtların üretiminden kaynaklanan başlıca hava emisyonları gösterilmektedir.

### Oluşması Muhtemel Etkiler

- Baca gazı emisyonu sebebiyle hava kalitesinin bozulması (özellikle fosil yakıtların kullanıldığı tesisler),
- Kaplama tozlarının bazı bileşenlerinin akciğer, göz ve cildi tahriş etmesi ve alerjik reaksiyonlara sebep olması,
- Kaplama tozlarının uzun süreli sağlık etkilerine veya astıma neden olması,
- Uçucu organik bileşiklerin solunması kaynaklı solunum problemlerinin ortaya çıkması,

- Yağ alma işleminde genellikle klorlu organik bileşiklerin kullanılması sebebiyle bu maddeler kaynaklı solunum problemlerinin ortaya çıkması,
- Yüksek konsantrasyonlu organik çözücülerin uyuşturucu etkisi göstermesi ve ölüme sebep olması,
- Su bazlı ve solvent bazlı boya kullanılması sebebiyle uçucu organik bileşikler içeren hava emisyonları,
- Metal şekillendirme ve yüzey hazırlama aşamasında kullanılan solventleri (trikloretan, aseton, ksilen, tolüen, vb.) içeren hava emisyonları,
- Astar ve ara kat boyama ve şeffaf kaplama aşamalarında ortaya çıkan CO, NO<sub>x</sub> ve SO<sub>x</sub> içeren hava emisyonları,
- Boyama, presleme ve talaşlı imalat sırasında ortaya çıkan boya partikülleri ve metal tozlarını içeren partiküler madde emisyonları,
- Kaplama aşamasında HF, SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, HCl, kostik, asit ve diğer kimyasalları içere aerosoller ihtiva eden hava emisyonları.
- Kaplama aşamasında uygulanan kaplama yöntemine göre farklı metalleri içeren (çinko, krom, alüminyum, vb.) metal buharı emisyonları,
- Kaynak aşamasında NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> ve CO içeren hava emisyonları,

#### **Alınması Gereken Önlemler**

- Baca gazı arıtma sistemi, her koşulda ilişkin yönetmelikte belirtilen emisyon limit değerlerini sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- Hava Kalitesi Dağılım Modellemesi yapılarak, tesisten çıkan emisyonların hava kalitesi ile ilgili tüm mevzuatın ihlal etmediği gösterilmelidir.
- Tehlikeli hava emisyonlarına sebep olamayacak alternatif boyama kimyasalları kullanılmalıdır.
- Su ya da solvent bazlı boya yerine toz boya tercih edilmelidir/kullanılmalıdır.
- Havalandırma sistemleri kurulmalıdır.
- Gaz ve dumanın toplanabilmesi için filtre ve emme sistemleri kurulmalıdır.

Tablo 6. Motorlu Taşıtların Üretiminden Kaynaklanan Başlıca Hava Emisyonları

Proses	Kaynağı	Kirleticiler
Buhar (Enerji) Üretimi	Boylar emisyonları	Partiküler madde, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>2</sub>
Presleme	Metal kesme ve/veya şekil verme	Trikloretan, aseton, ksilen, toluen, vb. solvent atıkları, partiküler madde
Kaynak	Kaynak işlemi	NO, NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, etil bromür, fosgen, fosfin, metal buharları (çinko, krom, alüminyum, vb.)
Boyama	Yüzey hazırlama	Aseton, ksilen, toluen, vb. solvent atıkları
	Kaplama	HF, SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HCl, kostik, asit ve diğer kimyasalları içere aerosoller (kostik soda solüsyonu, sülfirik asit, Cr <sup>6+</sup> , siyanür), metal buharları (çinko, krom, alüminyum, vb.)
	Temizleme işlemleri	Toluen, ksilen, metil izobütül keton
	Astar boyama için yüzey hazırlama işlemleri	Glikol eterler, metanol, metil izobütül keton, ksilen, metil etil keton
	Astar boyama	Glikol eterler, metanol, ksilen, etilbenzen, metil etil keton, formaldehit, CO, partiküler madde, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>x</sub>
	Ara kat boya	1,2,4-trimetil benzen, etilbenzen, ksilen, toluen, formaldehit, glikol eterler, metanol, metil etil keton, nafta, CO, partiküler madde, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>x</sub>
	Şeffaf kaplama	Etilbenzen, ksilen, 1,2,4-trimetil benzen, metil izobütül keton, formaldehit, CO, partiküler madde, NO <sub>x</sub> ve SO <sub>x</sub>
Kimyasal deposu	Çeşitli organik ve inorganik kimyasallar	Uçucu organik bileşikler

Kaynak: Katip, A., Karaer, F. ve Özengin, N., (2014)

Hava kirliliğini önlemek amacıyla ulaşımda yeni nesil akaryakıt ürünleri ve motorlu araçlara uygulanan Euro Emisyon Standartları önemli bir rol oynamaktadır. Avrupa Birliği ülkelerinde başlayan ve daha sonra Türkiye’de de uygulamaya konulan Euro Emisyon Standartları, motorlu araçların egzoz emisyonlarını kontrol etmeyi amaçlar. Her bir Euro standardı, belirli bir takvim içinde egzozdan çıkan zararlı gaz ve partikülleri azaltma hedeflerini belirler. Türkiye, Euro Emisyon Standartlarına geçiş sürecini AB ülkelerinden daha geç başlatmıştır. 2008 yılında “Euro 1” standartlarına geçiş yapılırken, 2009’dan itibaren “Euro 4” standartlarına geçilmiştir. Euro standartlarına ek olarak, iklim değişikliği ile mücadelede biyoyakıtlar da vurgulanmıştır. Biyoyakıtlar, geleneksel fosil yakıtların yerine kullanılarak, taşıtların karbon ayak izini azaltmaya yönelik bir alternatif olarak değerlendirilmektedir. Türkiye’de Eylül 2014 itibariyle “Euro 6” standartlarına geçilmiştir (Tablo 7). Her yeni Euro standartında taşıtların çevreye verdiği zarar azaltılmış ve daha çevreci bir ulaşım hedeflenmiştir (Soruşbay, 2010).

Tablo 7. Euro Normları

<b>Dizel motorlu yeni araçlar için emisyon değerleri</b>						
	Geçerlilik tarihi	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
<b>Euro I</b>	01/92	3,16	-	-	1,13	0,14
<b>Euro II</b>	01/96	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08
<b>Euro III</b>	01/00	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05
<b>Euro IV</b>	01/05	0,50	0,05	0,25	0,30	-
<b>Euro V</b>	09/09	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005
<b>Euro VI</b>	08/14	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005
<b>Benzin motorlu yeni araçlar için emisyon değerleri</b>						
	Geçerlilik tarihi	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	HC+NOx (g/km)	PM
<b>Euro I</b>	12/92	2,72	-	-	0,97	-
<b>Euro II</b>	01/97	2,20	-	-	0,5	-
<b>Euro III</b>	01/00	2,30	0,20	0,15	-	-
<b>Euro IV</b>	01/05	1,00	0,10	0,08	-	-
<b>Euro V</b>	09/09	1,00	0,10	0,06	-	0,005*
<b>Euro VI</b>	08/14	1,00	0,10	0,06	-	0,005*

Kaynak: Katip, A., Karaer, F. ve Özengin, N., (2014)

#### 5.1.4. Atıklar

Motorlu taşıtların üretimi sürecinde ortaya çıkan atıklar, çevresel etkiler açısından önemli bir konudur. Özellikle hava emisyonları ve atıksuların yanı sıra tehlikeli ve tehlikesiz atıklar da dikkate alınmalıdır. Temel atık kaynağını ise boyama aşamasında uygulanan yüzey hazırlama işlemleri oluşturmaktadır (Katip, Karaer ve Özengin, 2014).

#### Oluşması Muhtemel Atıklar/Etkiler

- Presleme, yüzey hazırlama işlemleri esnasında ortaya çıkan metal atıkları,
- Organik çözücüler,
- Talaşlı imalat aşamasında ortaya çıkan ince tozlar, kirlenmiş soğutma sıvısı ve yağlama maddeleri,
- Sıyırma asitleri,
- Sulu durulama sıvıları,
- Yağ alma atıkları,
- Membran ya da iyon değişim sistemlerinden kaynaklanan sıvı ve çamurlar,
- Metal çapakları ve talaşları,
- Metal toz ve parçacıkları,
- İşleme yağları,
- Kaynak atıkları,



- Atık boya ve vernikler,
- Boya ve vernik çamurları

### **Alınması Gereken Önlemler**

- Geri dönüşümlü kapların kullanımı,
- Metal atıklarının (presleme, talaşlı imalat, vb. aşamalarda ortaya çıkan) geri dönüşümü,
- Ambalajlamanın azaltılması,
- Atık gazların temizleme vb. süreçlerden kaynaklanan yağla kirletilmiş atıkların önlenmesi,
- Durulama işleminin verimliliğinin artırılması,
- Banyolardan taşan sıvıların azaltılması,
- Mevcut yağ alma işleminin iyileştirilmesi,
- Yağ alma banyolarının temizlenip yeniden kullanılması,
- Boyama sistemlerinde değişikliğe gidilmesi,
- Toz boya kullanımı,
- Kuru talaşlı imalat yapılması.

### **5.1.5. Atıksular**

Motorlu taşıtların üretimi sürecinde farklı işlemlerden gelen çeşitli atıksuların karıştığı ve bu karışım sonucu karmaşık bir nihai atık suyun oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu atıksuların özellikleri, üretilen taşıt tipi, yüzey hazırlama, kaplama, boyama işlemleri, kullanılan kimyasal ve yardımcı maddeler gibi çeşitli faktörlerin kombinasyonu tarafından belirlenmektedir. 100 taşıt üretimi sonucunda elde edilen ortalama atıksu karakterizasyonu Tablo 8’de verilmektedir. Sadece otomotiv üretimi sektörüne ilişkin atıksu karakterizasyonu ise Tablo 9’da sunulmaktadır.

*Tablo 8. Motorlu Taşıtlar Üretimi Sektörü Ortalama Atıksu Karakterizasyonu*

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
KOl, kg/100 taşıt	454
BOl, kg/100 taşıt	145
Cr <sup>+6</sup> , kg/100 taşıt	2,0
Cr <sup>+3</sup> , kg/100 taşıt	1,0
Zn, kg/100 taşıt	0,5
AKM, kg/100 taşıt	162
Debi, m <sup>3</sup> /100 taşıt	808

*Kaynak: (Nemerow, N.L.,1978)*

Tablo 9. Otomotiv üretimi atıksularının tipik özellikleri

Parametre	Değer
pH	5,46
AKM, mg/L	181
Toplam Çözünmüş Katılar, mg/L	2435
BOİ, mg/L	83
KOİ, mg/L	436
Cl, mg/L	706
SO <sub>4</sub> , mg/L	108
Toplam Fosfor, mg/L	11,9
Zn, mg/L	0,8
Pb, mg/L	1,1

Kaynak: (TCCŞB, 2017).

### Oluşması Muhtemel Etkiler

- Atıksularda bulunan biyobozunurluğu düşük kimyasalların varlığından kaynaklanan zor arıtılabilirlik ve renk,
- Presleme prosesinde çokça kullanılan yağları içeren atıksular,
- Kaynak aşamasından kaynaklanabilecek soğutma suları ve blöfler,
- Yağ alma işleminde kullanılan alkali ya da klorlu organik çözücüleri içeren atıksular,

### Alınması Gereken Önlemler

- Münferit işletmelerde (tam arıtma gereken) tüm atıksuların kimyasal ve biyolojik proseslerle arıtımı,
- Münferit işletmelerde atıksuların ikinci (biyolojik) arıtma öncesi veya sonrası biyobozunurluğu düşük bileşiklerin bozunmasını sağlamak amacıyla ön işleme (ozonlanma vb. teknikler) tabi tutulması,
- Organize sanayi bölgelerinde bulunan işletmelerde, ortak arıtmanın gerektirdiği düzeyde atıksuların ön arıtılması,
- Geri kazanılabilir atıksuların geri kazanımı ve diğer tüm atıksuların birlikte gerektiği düzeyde arıtımı,
- Kazan soğutma sularının geri kullanımı.

## 6. SONUÇ

Bu çalışmada otomotiv endüstrisinin çevresel etkileri ve bu etkileri azaltmaya yönelik yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Dünya genelinde ve Türkiye’de yaşanan nüfus artışı ve ekonomik büyüme, otomotiv endüstrisinde üretim ve tüketimde artışa neden olmuştur. Ekonomik büyüme ile birlikte artan üretim, katı, sıvı ve gaz atıkları da artırmıştır. Bu bağlamda, otomotiv şirketleri çevreci uygulamalara odaklanarak atık yönetimi ve geri dönüşüm çalışmalarını önemsemektedir. Tüketicilerin çevresel konularda duyarlılıklarının artması, otomotiv şirketlerini çevre dostu ürünleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Otomotiv endüstrisi, çevresel uyum ve sertifikasyon standartlarına uymak için çeşitli önlemler almaktadır. Eko-dizayn, temiz teknolojiler ve çevre dostu malzemeler kullanımı gibi alanlarda çalışmalar yapılmaktadır. Dünya genelinde yaşanan enerji sıkıntısına karşı, otomotiv endüstrisi enerji kaynaklarının üretim ve kullanım aşamalarında daha verimli kullanımı hedeflemektedir. Türkiye’nin coğrafi avantajları, otomotiv endüstrisinin çevresel uygulamalarını destekleme potansiyeline sahiptir. Yeşil uygulamalarla desteklenen ekonomik büyüme, çevresel sürdürülebilirliği artırabilir.

Çalışmanın sonuçlarına dayanarak otomotiv ana ve yan sanayisinden kaynaklanan çevresel etkileri azaltmak için öneriler şu şekilde sıralanabilir:

- **Çevre Dostu Tasarımlara Odaklanma:** Üretim sürecinde çevresel etkileri azaltmak için öncelik, çevre dostu tasarımlara verilmelidir. Hafif malzeme kullanımı yakıt tüketimini azaltmak için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir. Kullanılabilecek malzeme aynı zamanda geri dönüştürülebilecek olması da önemli bir gereksinimdir. Bu, ürünlerin ömrü boyunca oluşacak atıkları minimize etmeyi amaçlar.

- **Atıkları Kaynağında Azaltma ve Geri Kazanım:** Üretim aşamasında atıkları azaltmaya odaklanmak, kaynağında mümkün olduğunca az atık oluşumunu sağlamak önemlidir. Ayrıca, atıkların geri kazanımı ve yeniden kullanımı teşvik edilmelidir.

- **Mevzuat Takibi ve Uyum:** Otomotiv endüstrisi, çevre mevzuatına sıkı bir şekilde uymalıdır. Türkiye’nin Avrupa Birliği’ne aday olması nedeniyle ulusal ve AB mevzuatlarının takibi önemlidir.

- **Kalite ve Standart Belgeleri:** İşletmelerin performansını artırmak için kalite ve standart belgeleri alınmalıdır. ISO 9000, ISO 14000 ve CE uygunluk işareti gibi sertifikalar, çevre dostu üretim süreçlerinin belirlenmesine yardımcı olabilir.

- **Ar-Ge Faaliyetlerine Yatırım:** Otomotiv endüstrisi, çevre dostu teknolojilere yönelik Ar-Ge faaliyetlerine daha fazla yatırım yapmalıdır. İklim değişikliği ve çevre duyarlılığının artmasıyla bu tür teknolojilere olan talep de artacaktır.

- **Teşvikler ve Vergi Muafiyetleri:** Çevre dostu ürünleri üreten firmalar teşvik edilmeli, vergi muafiyetleri gibi teşviklerle ödüllendirilmelidir. Bu, sektörde çevre dostu teknolojilere geçişi hızlandırabilir.
- **Yasal Düzenlemeler ve Uygulama:** Çevre kirliliğini önleyecek ürünleri üreten firmaları teşvik etmek için uygun yasal düzenlemeler yapılmalı ve bu düzenlemeler etkili bir şekilde uygulanmalıdır.

## KAYNAKÇA

- Anonim. (2003). Otomotiv sanayi sektör raporu, İstanbul Ticaret Odası.
- Anonim. (2004). Su kirliliği kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2005a). Katı atıkların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Daire Başkanlığı, 05.04.2005 tarih ve 25777 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2005b). Tehlikeli atıkların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Daire Başkanlığı, 14.03.2005 tarih ve 25755 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2005c). Tıbbi atıkların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Daire Başkanlığı, 22.07.2005 tarih ve 25883 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2007.) Ambalaj atıklarının kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Daire Başkanlığı, 24.06.2007 tarih ve 26562 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2008). Atık yağların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Daire Başkanlığı, 30.07.2008 tarih ve 26952 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2009). Endüstriyel kaynaklı hava kirliliğinin kontrolü yönetmeliği, Mevzuat Geliştirme Ve Yayın Genel Müdürlüğü, 03.07.2009 tarih ve 27277 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2010). Çevresel gürültünün değerlendirilmesi ve yönetimi yönetmeliği, Mevzuat Geliştirme Ve Yayın Genel Müdürlüğü, 04.06.2010 tarih ve 27601 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2012). Atık elektrikli ve elektronik eşyaların kontrolü yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 22.05.2012 tarih ve 28300 sayılı Resmi Gazete.
- Anonim. (2014). Oyak-Renault Atık Yönetimi Semineri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 5 Mayıs, 2014.
- Bayrakçeken, H. 2005. Dünyada ve Türkiye'de Otomotiv Sanayinin Sektörel Analizi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, (2): 1-11.
- Buluç, M. and Yazıcı, B. (2013). Atık Pil ve Akümülatörleri Kontrolü ve Oyak-Renault Örneği. Uludağ Üniversitesi, Katı Atık Yönetimi Dersi, Ödev Raporu.
- Chiaberge, M. (2011). New Trends and Developments in Automotive Industry, InTech, <https://www.intechopen.com/books/new-trends-and-developments-in-automotive-industry>, (20.02.2024).
- Demirer, G. N. (2008). Otomotiv sektöründen temiz üretim ve eko-inovasyon uygulama örnekleri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, İstanbul.
- Elmas, G. (2011). Bursa Bölgesi'nde Otomotiv Lojistiği ve Otomotiv Terminallerinde Kapasite Analizi. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul)/ Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay>.

- jsp?id=tpkH4VxZuaVg40BoFU9JuA&no=joqKm9oLM30Wg3uRvGus-w.
- Erdoğan, B ve Salihoglu, G. (2018). Evaluation of the Solid and Hazardous Wastes Generated by the Automotive Industry in Turkey.
- Ergüzel, İ. (2013). Otomotiv Endüstrisi Kaynaklı Toprak Kirliliği Risklerinin Belirlenmesi Ve Çözüm Önerileri (Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa). Erişim adresi: <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/e4a4b8c6-0901-4fc2-a2bc-bcc4e2d748f0/content>.
- Gökçe, E. (2008). Otomotiv Yan Sanayinde ISO:9001 Kalite Ve ISO:14001 Çevre Yönetim Sistemlerinin Entegrasyonu, (Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul)/ Erişim adresi: <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezDetay.jsp?id=uJA611FDAlgQrdq7E05kMg&no=evzUcbG8YBd-Cfj8GEtBCdQ>.
- Kaplan G. (2002). Zararlı atıkların yönetimi ve otomobil örneği sektörünün incelenmesi, Bitirme Tezi.
- Katip, A., Karaer, F., Özenin, N. (2014). Otomotiv Sektörünün Çevresel Açından Değerlendirilmesi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19 (2).
- Marangoz, M. (2004) İşletmelerin Çevresel Sorumluluğu: Türk Otomotiv Sanayine Yönelik Bir Araştırma, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(3).
- Mitchell, W. J., Borroni-Bird, C. E. ve Burns, L. D. (2010). Reinventing the Automobile Personal Urban Mobility for the 21st Century, The MIT Press, USA.
- Nemerow, N.L. (1978). Industrial Water Pollution: Origins, Characteristics, and Treatment. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- OICA Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (International Organization of Motor Vehicle Manufacturers)/ Erişim adresi: <https://www.oica.net/category/production-statistics/> (Erişim tarihi: 22.02.2024).
- OSD. 2023. Otomotiv Sanayii Genel ve İstatistik Bülteni. General and Statistical Information Bulletin Of Automotive Manufacturers, Sayfa Sayısı: 24.
- Pişkin, S. (2017). Otomotiv Sektör Raporu, Türkiye Otomotiv Sanayii Rekabet Gücü ve Talep Dinamikleri Perspektifinde 2020 İç Pazar Beklentileri, TSKB, Ocak 2017.
- Soruşbay, C. (2010). Trafik Kaynaklı Hava Kirliliği Ve Otomotiv Sektöründe Alınan Önlemler. Hava Kirliliği Ve Kontrolü Ulusal Sempozyumu, Bildiriler Kitabı Sf:1-7, Ankara.
- TCCŞB, 2017. Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) Alanında Kapasitesinin Güçlendirilmesi İçin Teknik Yardım Projesi, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- Tenikler, G. (2007). Türkiye'de Tehlikeli Atık Yönetimi ve Avrupa Birliği ülkeleri ile karşılaştırmalı bir analiz. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Kamu Yönetimi Anabilim Dalı.
- UİB. 2024. Uludağ İhracatçılar Birliği/ Erişim adresi: <https://uib.org.tr/tr/otomotiv->

den-2023-yilinda-35-milyar-dolar-ile-tum-zamanlarin-ihracat-rekoru/ (Erişim tarihi: 20.02.2024).

- Üstünişik, N. Z. (2014). Türkiye İmalat Sanayinde Yeşil İmalatın Uygulanabilirliği: Makine İmalat Sanayi Örneği. Kalkınma Bakanlığı İktisadi ve Sektörler ve Koordinasyon Genel Müdürlüğü Uzmanlık Tezi, Yayın no: 2864.
- Yaşar, O. (2013). Türkiye’de Otomotiv Ana ve Yan Sanayi ve Marmara Bölgesi’nde Kümelenme. International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, Vol. 8/6, s. 779-805.
- Yılmaz, S., Taştan, K., Ecek, N ve Çınar, E. (2017). Otomotiv Sektörünün Dünyadaki ve Türkiye’deki Değişimi, Ordu Üniversitesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi, 7(3), 685-695, Kasım 2017.





# BÖLÜM 10

## **CANLI BALIK TRANSFERİNDE KULLANILAN POMPALAR**

*Muhammed İsmet GÖKTUĞ<sup>1</sup>*

*Betül SARAÇ<sup>2</sup>*

*Erhan AKSU<sup>3</sup>*



1 Muhammed İsmet Göktuğ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Çamburnu -Sürmene, Trabzon, Türkiye; ismetkaraman16@hotmail.com

2 Doç. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Çamburnu -Sürmene, Trabzon, Türkiye; bsarac@ktu.edu.tr

3 Dr.Öğretim Üyesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Makineleri Mühendisliği Bölümü, Çamburnu-Sürmene, Trabzon, Türkiye; eaksu@ktu.edu.tr

## 1. Giriş

Su ürünleri, insanlar için önemli bir besin ve gelir kaynağı olmuştur. Bu sebepten dolayı su ürünleri sektörü her geçen gün daha da gelişmektedir. Bu sektör, insanların beslenmesinde önemli yer tutar ve sektörün sürekliliği açısından oldukça fazla istihdam alanı oluşturur. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü'nün 2022 Su ürünleri raporuna göre su ürünleri sektörü son 50 yılda hızlı bir gelişme göstermiştir (TEPGE 2022). Dünya çapında 1950 yılından 1980'lerin sonlarına kadar balık avcılığı miktarları artış gösterip sonrasında nispeten istikrarlı bir süreç izlenmiş ve avcılık miktarları yaklaşık olarak yılda 86 milyon ile 93 milyon ton arasında değişkenlik göstermiştir (Food & Agriculture Organization, 2000). Su ürünleri sektöründe balıkların verimli bir şekilde nasıl taşınacağı önemli yer tutmaktadır. Balıkların taşınması süreci, üretim, işleme, pazarlama ve tüketim aşamalarında etkilidir. Geleneksel taşıma yöntemlerinde balıkların başka bir yere kaplarla taşınması, enerji, zaman, maliyet ve kalite açısından dezavantajlıdır. Bu yöntemde balıkların kaplarda canlı olarak taşınım esnasında zarar görme ihtimali yüksektir. Bu sebepten ötürü, her geçen gün bünyesine yeni makineler ve donanımları katan su ürünleri sektöründe balıkların canlı taşınma yöntemlerini etkin ve verimli bir şekilde gerçekleştirebileceği canlı balık transfer pompası sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Canlı balık transfer pompalarının kullanımı ile balık transferinin verimliliğini ve hızını artırarak daha kısa sürede daha büyük miktarlarda balık transferi sağlanabilir.

Canlı balıkların taşınması için açık sistem ve kapalı sistem olmak üzere iki temel taşıma sistem bulunmaktadır (Berka, 1986). Canlı balıkların taşındığı konteynerin içinde yaşam koşullarının tamamen kontrol edildiği ve sağlandığı sistem kapalı sistemdir. Bu sistemlerde su sirkülasyonu ve oksijenleme genellikle dış kaynaklarla sağlanır. Açık sistemde ise, balıkların taşındığı konteynerin içindeki su sürekli olarak dış kaynaklardan yenilenir. Bu sistemde, taşıma tankı veya kap sürekli olarak dışarıdaki bir su kaynağından su alır ve bu suyun içerideki suyu sürekli olarak değiştirmesi sağlanır. Açık sistemlerde genellikle taşıma tankları, akvaryumlar veya su dolu tankerler gibi kaplar kullanılır. Su sirkülasyonu genellikle dışarıdan gelen akışla sağlanır ve genellikle oksijenlendirme için aeratörler kullanılır (Berka, 1986). Canlı balık transferinin açık ve kapalı sistemlerle gerçekleştirilmesinde kullanılan pompalar, suyun temizliğinin ve oksijenlenmesinin sağlanması için önemli bir rol oynar. Bu sistemlerdeki pompalar içerisinden canlı balık geçirilmediğinden balıkların sağlığına zarar vermeyecek şekildedir.

Günümüzde kullanılan özel olarak tasarlanmış pompa sistemleri, canlı balıkların zarar görmeden güvenli bir şekilde bir tanktan diğerine veya bir su kaynağından bir tanka pompalanmasını sağlayarak, pompa içinden canlı balıkların taşınmasını mümkün kılar. Canlı balıkların güvenli bir şekilde pompalanmasını sağlamak için, bu pompaların genellikle daha düşük basınç

ve debi seviyelerinde çalışması, pompa iç yüzeyinin pürüzsüz olması ve balıkların zarar görmemesini sağlayacak özel önlemlerin alınması gerekmektedir. Balıkları transfer ederken, suyun temiz ve filtrelenmiş olması önemlidir. Su ürünleri endüstrisi veya bilimsel araştırmalarda, balıkların nakledilmesi sırasında bu tür pompalar kullanılabilir.

### **1.1. Canlı Balık Transferinde Kullanılan Pompalar**

Canlı balık transferinde kullanılan balık pompaları çalışma prensiplerine göre; Archimedes balık pompaları, santrifüj balık pompaları, vakumlu balık pompaları, ejektör balık pompaları, hava kaldırmalı (air-lift) balık pompaları ve eksenel balık pompaları olarak 6 gruba ayrılmaktadır.

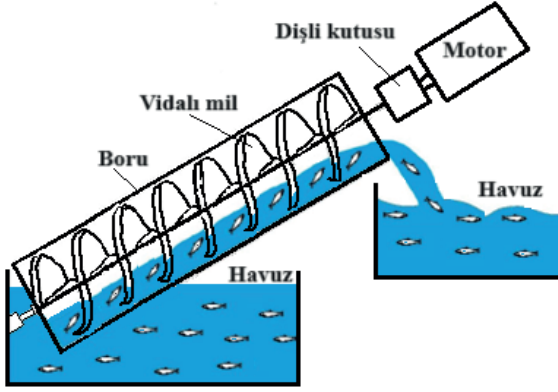
#### **1.1.1. Archimedes Balık Pompası**

Archimedes pompası vidalı pompa tipi veya Archimedes helezon pompa tipi olup, eski Mısır'da Nil nehrinde suyun transferinde kullanıldığı bilinmektedir. Her ne kadar Archimedes pompasının Archimedes tarafından icat edildiğini söylenmesine ve pompanın isminin onun ismiyle tanımlanmasına rağmen Archimedes'in bu pompayı sahiplendiğini gösteren bir kaynak bulunmamaktadır. Archimedes pompası, Archimedes den 200 yıl sonra yaşamış olan Diodorus tarafından kendisine atfedilmiştir (Alton ve Howell, 2003).

Archimedes helezon su pompası özel olarak imal edilmiş bir hacimsel pompadır. (Şekil 1)' de görüleceği üzere silindirik bir boru içerisinde yer alan helezon vida tipli bir tasarıma sahiptir. Bu helezon vida, bir tahrik sistemi tarafından veya elle döndürülmeye başladığı zaman akışkanın dişler arasında kalarak emme kanalından basma kanalına doğru hareketi sağlanmış olur. Geleneksel balık pompalarında helezon vida, silindirik boru içerisindeki vidanın genişliği boyunca vidanın en uç tarafına kadar yayılır. En uçtaki sargıların balığa çarpması ve balığın sargıyla silindirik boru arasına sıkışıp yaralama ihtimali olduğundan dolayı geleneksel tasarımla balık transferi yapılması pek uygun değildir.

FishFlow Innovations şirketi geleneksel Archimedes pompası üzerinde modifikasyonlar yaparak balıkların transferi esnasında zarar görmesini engellemiştir (Vriese. 2009). Balıklara zarar vermeyen vida pompalarının tasarımını ve işleviyle ilgili detaylı inceleyerek, balıkların vida pompalarıyla etkileşimini, pompaların tasarımındaki özellikleri ve bu tasarımın balıklara olan etkilerini açıklamıştır. Balıkların su pompalarıyla güvenli bir şekilde etkileşime girebileceği ve zarar görmeden geçebileceği ideal bir tasarımın su kaynakları yönetimi ve çevre koruma açısından önemli olduğunu belirtmiştir. Balıkların transferinin güvenli bir şekilde olması için uyguladıkları tasarım ile geleneksel tasarımdan kaynaklı balık yaralanmalarını önlemişlerdir ve 99 balıkla yapmış oldukları test sonucunda 99 balığında yaralanmadan pompadan geçtiğini gözlemlemişlerdir (Vriese. 2009). Uygun tasarımlarla

Archimedes balık pompası balıklara zararsız bir transfer imkânı sunar. Sessiz çalışırlar. Pompanın düşük devir dişli kutusu içermesi sistemin verimliliğini etkilemektedir.

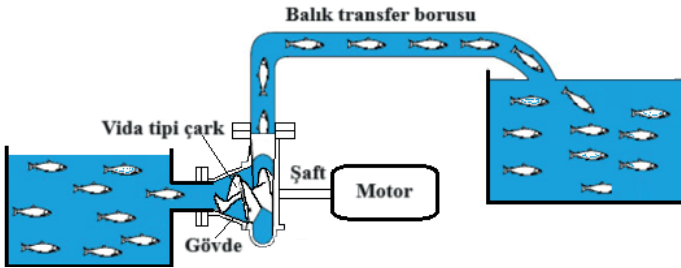


Şekil 1. Archimedes balık pompası

### 1.1.2. Santrifüj Balık Pompası

Santrifüj balık pompası, canlı balıkların bir yerden başka bir yere taşınmasını sağlamak için tasarlanmış, su ürünleri sektöründe önemli bir ekipmandır. Su ürünleri endüstrisinde kullanılan tüm pompaların yaklaşık %90'ı santrifüj pompadır (Landau, 1992).

(Şekil 2)'de görüleceği üzere santrifüj balık pompaları, bir gövde içerisindeki çarkı yüksek hızda döndürerek çalışır. Çark, bir tahrik makinesine bağlı şaft üzerinde konumlanır ve tahrik makinesinin hareketi sayesinde dönmeye başlar. Çark dönmeye başladığı zaman emme ağzında düşük basınçlı bir bölge oluşur. Bu sayede su ve balıkların pompaya çekilmeleri sağlanır. Çarkın dönüşü ile birlikte oluşan merkezkaç kuvveti, su ve balıkları pompanın gövdesine doğru hareket etmeye zorlar. Gövdenin içerisinde akış kanalı kademeli olarak genişlediğinden sıvının akış hızı kademeli olarak azalır ve kinetik enerjinin bir kısmı basınç enerjisine dönüşür. Sonrasında su ve balıklar pompadan dışarıya transfer edilir.



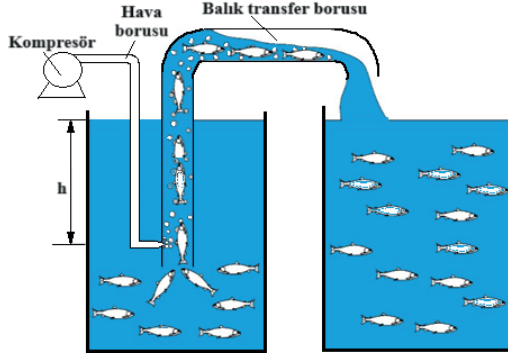
Şekil 2. Vida Tipli Çarka Sahip Santrifüj Pompa

Santrifüj balık pompaları ilk olarak denizdeki balıkçı teknelerinde ve daha sonra havuz balığı yetiştiriciliğinde kullanılmıştır. Santrifüj balık pompalarının pervanelerinin şekli nedeniyle balıkların transferi esnasında balıkların %2-%5'inde zarar görülmüştür ve sonrasında pompa üzerinde modifikasyonlar yapılarak balıklara verilen zarar azalmıştır (Váradi, 1984).

Santrifüj pompanın vida tipli çarka sahip hali ise, gıda (domates, patates, elma vs.), canlı balık, karides gibi hassas ürünler de dahil olmak üzere katı madde aktarmada iyi bir performans göstermiştir. Vidalı santrifüj pompanın emme kısmındaki pervane kanadının şekli canlı balık transferi esnasında balıkların zarar görmesini etkilemektedir. (Hoang vd., 2022) vida tipli çarka sahip santrifüj pompanın emme kısmındaki pervane kanadını düz, içbükey, dışbükey olarak 3 farklı tipte inceleyip canlı balık transfer pompasının hidrolük ve emiş performansı üzerindeki etkilerini CFD analizi ile incelemiştirlerdir. Balıkların zarar görmeden taşınması için kaviteyonun azaltılması gerektiğini, bunun içinde 180° süpürme açılı dışbükey kanat tipinin üstün kaviteyon azaltma yeteneğiyle birlikte nispeten düzgün ve homojen akış modeli ile sonuçlandığını tespit etmişlerdir. Santrifüj balık pompalarının kullanım alanı yüksek olup diğer pompa tiplerine göre daha ekonomiktir. Emme yüksekliğinin kısıtlılığı bu tip pompaların dezavantajıdır.

### 1.1.3. Hava Kaldırma (Air lift) Balık Pompası

Hava kaldırma (Air lift) pompaları atık su tesislerinde, madencilikte, petrol ve gaz çıkarma işlemlerinde, su ürünleri yetiştiriciliğinde, kimyasal işleme tesislerinde kullanılabilir. Hava kaldırma pompası, bir akışkanı ve akışkanın etrafındaki katı maddeleri transfer etmek için basınçlı hava kullanma prensibine göre çalışır. Sistem, sıvıya belli bir miktarda daldırılmış bir boru ve boruya hava verilmesini sağlayan bir kompresör yardımıyla çalıştırılır. Boruya, su yüzeyinden  $h$  mesafesi kadar derinlikte hava basıldığında hava ve su karışımının yoğunluğu azaldığından boru dışındaki hidrostatik basınç daha yüksek olur ve boru içerisinden akışkan yükselmeye başlar (Varol, 1983). Borunun hava verilen kısmının üstü ile altı arasında bir basınç farkı meydana gelerek akışkan yukarı doğru hareket eder. Bu esnada akışkanın emildiği yerde taşınabilecek katı bir madde varsa akışkan ile o da hareket eder (Şekil 3). Bu prensip, balıkların taşınması için başarıyla uygulanmış ve balık transferi için özel hava kaldırma pompaları tasarlanmıştır ve boru içerisinde sadece hava kabarcıkları bulunduğundan balıklar herhangi bir zarar görmeden transfer edilebilir (Váradi, 1984). Borunun  $h$  mesafesi, çapı ve uzunluğu, gaz enjeksiyon yöntemi gibi geometrik unsurlar pompanın performansını güçlü bir şekilde etkilemektedir. (Shahriyar vd., 2023). (Váradi, 1984), hava kaldırma pompalarının çalışma prensibinin balık transferi için uygulanıp özel pompaların tasarlandığını ve boru içerisinde hava kabarcıklarının bulunması sebebiyle balıkların zararsız transfer edilebileceğini ifade etmiştir.



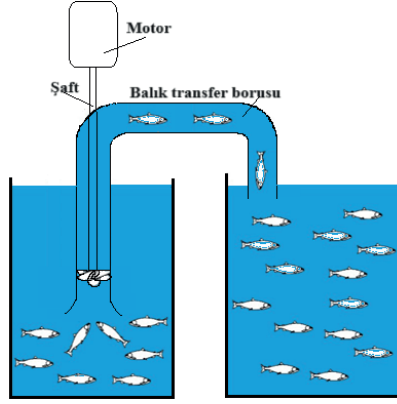
Şekil 3. Hava kaldırma pompası

Hava kaldırmalı balık pompaları tasarımı basit olup geniş kullanım alanları düşük tasarım ve bakım maliyeti avantajlarına sahiptirler fakat sınırlı emiş gücü ve soğuk hava şartlarından etkilenmeleri dezavantajlarıdır.

#### 1.1.4. Eksenel Balık Pompası

Bu tip pompalar sızdırmaz bir motor tarafından tahrik edilen bir silindirik boru içindeki bir pervaneden oluşur. Eksenel balık pompasının boyutları birçok geleneksel pompadan daha küçüktür. Düşük basma yüksekliği ve yüksek debi sağlaması sayesinde tarımda, enerji üretiminde, kimya endüstrisinde, atık su arıtımında, su ürünleri sektöründe kullanılır. Vida döndükçe oluşan basınç farkıyla su yukarıya doğru hareket eder (Şekil 4).

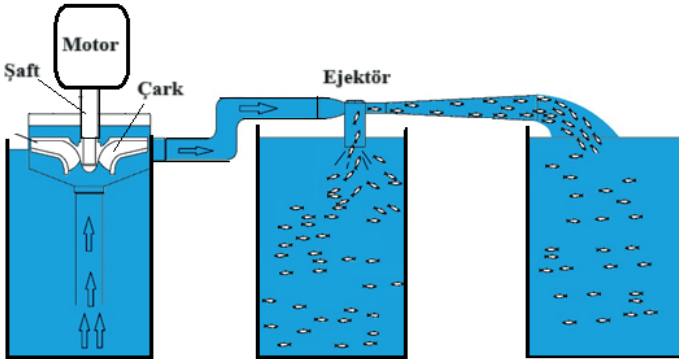
Geleneksel olarak nitelendirilebilecek olan eksenel balık pompaları kullanılarak yapılacak balık taşınmasında balık yaralanması ve balık ölme ihtimali yüksektir. (Pan vd., 2022) eksenel balık pompada kanat sayısının azaltılması ile balıkların kanatlara çarpmasının azaltıldığını ve spiral şeklindeki pervanenin ön kenarlarının uygulamış olduğu çarpma kuvvetinin azaltıldığını tespit etmişlerdir. Eksenel balık pompalar yüksek debi, düşük türbülans ve sürtünmeden dolayı yüksek enerji verimliliğine sahiptirler. Düşük basma yüksekliği ve değişken akış hızlarına uygun olmamaları dezavantajlarını oluşturmaktadır.



Şekil 4. Eksenel balık pompası

### 1.1.5. Ejektörlü Balık Pompası

Ejektörler birçok alanda aktif olarak kullanım alanlarına sahiptirler. Örneğin kimyasal uygulama tesislerinde, su ürünleri sektöründe, laboratuvarlarda, karıştırma tanklarında, gemilerde sintine devrelerinde vs. kullanılmaktadır. Ejektörler kendi içerisinde hareketli parça içermezler. Bu sebepten dolayı ejektörler, bir pompa veya başka bir devre elemanı yardımıyla kullanılmaktadır. Nozuldan giren yüksek basınçta sahip akışkan, nozul çıkışında kesit daralmasıyla birlikte basınç düşümüne uğrar ve karışım odasında vakum basıncı oluşur. Oluşan bu vakum basıncı sayesinde emme borusu vasıtasıyla aktarılmak istenen maddeleri (sıvı, katı, gaz veya karışık) kolayca difüzörden geçirerek başka bir ortama aktarma prensibiyle çalışmaktadır (Şekil 5). Karışım odasından çıkan karışmış akışkanlar difüzör içerisinde geçerek hızı azaltılıp basınçları arttırılır. Bu karmaşık akış olgusu, balıkta ciddi yaralanmalara neden olabilir. Aynı zamanda balık taşıma hızını ve akış verimliliğini olumsuz olarak etkileyebilir. (Xu vd., 2022) ejektör tasarımında yapılacak optimizasyonlarla birlikte bu etkilerin teorik olarak azaltılabileceği belirtilmiştir.

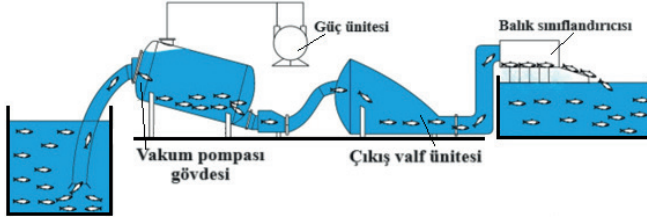


Şekil 5. Ejektörlü balık pompası

(Long, vd.,2016) su endüstrisindeki balıkları güvenli bir şekilde taşımak için tasarlanmış bir ejektörlü balık pompasını incelemiştir. Ejektörlü balık pompasının ot sazını üzerindeki etkilerini incelemiştir. Sonuçlara göre hiçbir balığın ölmediğini, yüzme sorunları veya organ yaralanmalarının olmadığını tespit etmişlerdir. Balıkların solunum hızları ve kan değerlerinin pompadaki akıştan etkilendiğini ve 24 saat içerisinde normale döndüklerini gözlemlemiştir. Ejektörlü pompalar hareketli parçalar içermemeleri, tasarım basitliği ve düşük maliyetli olmalarına rağmen gürültü, titreşim ve akışın karmaşıklığı dezavantajlarıdır.

### 1.1.6. Vakum balık pompası

Vakum, bir hacim içerisindeki gaz basıncının atmosferik basıncının altında olduğu ortamdır. Bir vakum pompasının amacı kapalı bir alandaki basıncı değiştirmektir. Kapalı ortamdaki basınç düştüğü zaman akışkan yüksek basınçlı alandan düşük basınçlı alana doğru basınç eşitlenene kadar hareket eder. Vakum pompaları; gıda ve içecek endüstrisi, ilaç endüstrisi, ambalaj endüstrisi, hayvancılık, su ürünleri sektörü vb. sektörlerde kullanılmaktadır. Vakum balık pompaları balıkların canlı olarak taşınması için kullanılan bir sistemdir. Vakum balık pompasının yapısı esas olarak bir güç ünitesi, bir vakumun oluşturulduğu gövde ve bağlantı borularından oluşur. Sistemde isteğe bağlı olarak çıkış valf ünitesi ve balık sınıflandırıcısı yer alabilir. Vakum balık pompaları, balığı bulunduğu yerden emerek vakumun oluşturulduğu gövdeye aktarır. Sonrasında yerçekimi etkisi ile istenen yere nakleder. Sistemde valf ünitesi ve balık sınıflandırıcısı kullanılırsa vakumun oluşturulduğu gövdeden sonra valf ünitesine ardından balık sınıflandırıcısına balıklar ilerler (Şekil 6).



Şekil 6. Vakum balık pompası

(Özkan, 2006), vakum balık pompasının kullanımıyla balık pompa içinde hareketli parçaya temas etmediğinden dolayı balığın strese girerek zarar görme ihtimali en az seviyeye indirildiğini belirtmiştir. (Hong, vd., 2023), vakum balık pompasında su emme yüksekliği, su emme açısı, pompa gövdesinin hacmi, su giriş çapı ve su çıkışının olduğu tahliye çapındaki değişimler sonucunda optimum hidrodinamik performansa sahip balık pompasının yapısal parametrelerini elde etmiştir ve bu pompanın, balıkların gövdesinde çarpışmalardan kaynaklı hasarı azalttığını tespit etmişlerdir. Vakum pompalarının emiş gücü yüksek olup maliyeti ve enerji tüketimi fazladır. Balık



transferinde güç ünitesi, bağlantı boruları ve vakum oluşturulan gövde geniş yer kaplamaktadır.

### 1.1.Canlı Balık Pompalarının Avantajları ve Dezavantajları

Canlı balık transferinde kullanılan pompaların avantaj ve dezavantajları (Tablo 1)'de özetlenmiştir.

**Tablo 1.** Canlı balık transferinde kullanılan pompaların avantaj ve dezavantajları.

Canlı balık transfer pompa çeşitleri		
	Avantajlar	Dezavantajlar
Archimedes balık pompası	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uygun modifikasyonlarla birlikte balıklar için zararsız bir transfer imkanı</li> <li>• Sessiz çalışma sistemi</li> <li>• İsteğe bağlı olarak farklı amaçlarda (sulama, Drenaj, hidrojenatör) kullanım imkânı</li> <li>• Asgari düzeyde bakım ihtiyacı</li> <li>• Çevre dostu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük devir dişli kutusu gerektir ve bu da verimliliği etkiler</li> <li>• Büyük boyutlar</li> <li>• Yüksek verim için değişken hızda çalıştırılmalıdır.</li> </ul>
Santrifüj balık pompası	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sürtünme kaybı düşüktür</li> <li>• Bakım maliyeti düşüktür.</li> <li>• Kullanım alanları fazladır (su ürünleri, atık su arıtma, madencilik vs.)</li> <li>• Titreşimsiz çalışma özelliği vardır.</li> <li>• Diğer pompa tiplerine göre daha ekonomiktir.</li> <li>• Debi kontrolü kolaydır.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Emme yüksekliği kısıtlıdır.</li> <li>• Kaviteasyon riski vardır</li> </ul>
Hava kaldırma balık pompası	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tasarım basitliği</li> <li>• Kullanım kolaylığı</li> <li>• Düşük bakım gereksinimi</li> <li>• Düşük tasarım maliyeti</li> <li>• Geniş kullanım alanları (madencilik, atık su tesisi vs.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük verimlilik</li> <li>• Gürültü ve titreşim</li> <li>• Düşük akış hızı</li> <li>• Soğuk hava şartlarından etkilenme</li> <li>• Sınırlı emiş gücü</li> </ul>
Eksenel balık pompası	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek debi</li> <li>• Yüksek enerji verimliliği</li> <li>• Düşük Türbülans ve sürtünme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Düşük basma yüksekliği</li> <li>• Kaviteasyon riski vardır</li> <li>• Değişken akış hızları için uygun değildirler.</li> </ul>
Ejektörlü balık pompası	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hareketli parça içermemeleri</li> <li>• Uygun maliyet</li> <li>• Tasarım basitliği</li> <li>• Düşük bakım gereksinimi</li> <li>• Korozyona dayanıklılık</li> <li>• Geniş kullanım alanları (gemiler, laboratuvar, su ürünleri sektörü vs.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gürültü ve titreşim</li> <li>• Karmaşık akış olgusu</li> <li>• Kaviteasyon riski vardır</li> </ul>

<b>Vakum balık pompası</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek emiş gücü</li> <li>• Düşük bakım gereksinimi</li> <li>• Yüksek verimlilik</li> <li>• Geniş kullanım alanları (gıda, ilaç, içecek endüstrisi, su ürünleri vs.)</li> <li>• Hareketli parça içermemeleri</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Yüksek enerji tüketimi</li> <li>• Maliyet</li> <li>• Balık taşınım için güç ünitesinin, bağlantı borularının ve vakum oluşturulan gövdenin geniş yer kaplaması</li> </ul>
----------------------------	--	--

### Sonuçlar

Canlı balıkların bir kaynaktan başka bir kaynağa transferi esnasında zarar görmemesi veya en az zararlar pompadan geçebilmesi için pompa tiplerine uygun modifikasyonlar yapılarak tasarlanmış pompa tipleri tanıtılmıştır. Pompa tipleri arasında çarka sahip olan santrifüj, Archimedes ve eksenel pompalarda balıkların çarklara çarparak veya çarkla pompanın gövdesi arasına sıkışarak zarar görme ihtimalleri vardır. Bu tip pompalarda çark tasarımında modifikasyonlar yapılarak balıkların zarar görmeleri azaltılmıştır. Canlı balık transferinde balıkların çarka temas etmeden transferinde çark içermeyen elemanlar olan ejektör, vakum pompa ve hava kaldırmalı sistemler güncel olarak uygulanmaktadır. Bu tür sistemler balık endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu çalışma bu konuda araştırma yapanlara canlı balık transferinde kullanılacak balık transfer tekniklerinin seçiminde yararlı olacaktır.

## KAYNAKÇA

- Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries Department. The State of World Fisheries and Aquaculture, 2000 (Vol. 3). Food & Agriculture Org.
- Berka, R. 1986. The transport of livefish A review. Food And Agriculture Organization Of The United Nations Rome, 1986. Eifac Technical Paper 48.
- Özkan, B. 2006. Kültür Balıkçılığında Mekanizasyon. 2006. Dergi Park, Aquaculture Studies. Cilt: 2006 Sayı: 3, 0- 0, 01.06.
- Landau, M. 1992. Introduction to Aquaculture. John Wiley & Sons Inc.
- Long, X., Xu, M., Qiao, L., Zou, J. 2016. Impact of the internal flow in a jet fish pump on the fish. Ocean Eng., 126, 313–320.
- Pan, Q., Zhang, D., Shi, W., & van Esch, B. P. M. (2022). Fish damage assessment during the passage through traditional and fish-friendly axial-flow pumps with Lagrangian tracking approach. Ocean Engineering, 253, Article 111188. doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.111188.
- Shahriyar, G., Holagh, L., Dana F., Marwan, H.T., Doucette, A. and Wael, A. 2023. Air-lift Pumps with Annulus Risers: An Experimental Investigation. Proceedings of the 8 th World Congress on Momentum, Heat and Mass Transfer (MHMT'23) Lisbon, Portugal, Paper No. ICMFHT 109. DOI: 10.11159/icmfht23.109.
- Alton, S.B. and Howell, T.S. (2003). Encyclopedia of water science. USA: CRC Press. p. 759.
- Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü (TEPGE). (2022). Ürün Raporu, Su Ürünleri. TEPGE YAYIN NO: 355, Ankara.
- Hoang, M., Shrestha, U., Choi, Y. 2022. Hydraulic and Suction Performances of the Screw Centrifugal Pump for Live Fish Transfer According to Impeller Blade Inlet Shapes Journal of Fluid Machinery. February 2022. DOI: 10.5293/kfma.2022.25.1.016
- Hong, Y., Zhu, Y., Zhang, C., Yang, M. and Jiang, T. Hydrodynamic Characteristic Analysis and NSGA-II Optimization of a Vacuum Fish Pump. 2023. J. Mar. Sci. Eng. 11, 1361. <https://doi.org/10.3390/jmse11071361>.
- Xu, M., Zeng, G., Wu, D., Mou, J., Zhao, j., Zheng, S, Huang, B., and Ren, Y. 2022. Structural Optimization of Jet Fish Pump Design Based on a Multi-Objective Genetic Algorithm. Energies. 15(11), 4104; <https://doi.org/10.3390/en15114104>.
- Váradi, L. Inland Aquaculture Engineering, Chapter 20 Mechanized Harvesting in Fish Culture, Fish Culture Research Institute, Szarvas, Hungary 1984. <https://www.fao.org/3/x5744e/x5744e01.htm>
- Varol, A. Doktora tezi, Ejektör ve air lift kombine pompalarının incelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü. 1983. Trabzon, Türkiye.
- Vriese, F.T. 2009. Research into the fish-friendly screw pumps Report: VA2009\_19 On behalf of: FishFlow Innovations August 2009.



# BÖLÜM 11

## **AKILLI KENTLEŞMEDE YAPAY ZEKANIN YERİ**

*Zeynep ÜNAL<sup>1</sup>*

*Aslı BOZDAĞ<sup>2</sup>*



<sup>1</sup> Zeynep Ünal, Dr. Öğr. Üyesi., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği, 0000-0002-9954-1151

<sup>2</sup> Aslı Bozdağ, Doç. Dr., Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 0000-0003-2178-6527

## 1. GİRİŞ

Sanayileşme ile tüm dünyada nüfusun tarım sektöründen kentlere doğru yönelmesi sonucu kentleşme süreci hız kazanmıştır (Erdem ve Bilgili, 2023). Kentleşme sürecinde imar ve yönetsel uygulamaların yetersiz kalması bazı kentlerin çarpık ve kontrolsüz gelişmesine ve bölgesel eşitsizliklerin oluşmasına neden olmuştur (Usta, 2020). Bunun sonucunda trafik yoğunluğu ve sosyo kültürel ihtiyaçlar artmış, istihdama yönelik beklentiler değişmiş ve kentlerde geri dönüşümü gittikçe zorlaşan ve yaşanabilirliği olumsuz etkileyen sorunlar ortaya çıkmıştır (Çatalbaş, 2016; Bozkurt ve Ayfer, 2018).

Akıllı kentleşme kentleşmenin bir sonucu olan nüfus yoğunluğu ve tüketim ihtiyaçlarındaki artışın günün gereksinimlerine ve geleceğin sürdürülebilir kentlerine uygun nitelikte giderilmesini sağlayacak kent yönetimini ifade etmektedir (Örselli ve Akbay, 2019; Sadioğlu ve Dinç, 2019). Akıllı kent, Avrupa Parlamentosu'na göre; akıllı yönetim, akıllı insanlar, akıllı yaşam, akıllı ulaşım, akıllı ekonomi ve akıllı çevre olmak üzere 6 özelliğten en az biri ve daha fazlasına sahip olan ve bunlara yönelik stratejik eylemler bildiren kentler olarak ifade edilmektedir (European Parliament, 2014; Uçar ve diğ., 2017). 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda kurum/kuruluşlarda yeni teknolojilerin kullanılması, akıllı şehir çözümlerinin yaygınlaşması ve yeni teknoloji ve ürünler geliştirilmesine yönelik projeler yürütülmesine ilişkin stratejiler bulunmaktadır (URL 1).

Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı'nda yer alan eylemlerin gerçekleştirilmesi için akıllı kent oluşturacak yerel yönetimlerin mekansal ve mekansal olmayan verileri toplayıp saklayabileceği ve analiz edebileceği bilgi sistemlerine, bu bilgiler ile doğru karar verme kapasitesini artıracak karar destek sistemlerine ve bu sistemlerin otomasyonunu sağlayacak yapay zeka sistemlerine ihtiyacı bulunmaktadır. Coğrafi Bilgi sistemleri (CBS) mekansal ve mekansal olmayan verileri toplayan, depolayan, ilişkilendiren, sorgulayan ve analiz eden bir yönetim sistemidir (Yomralıoğlu, 2002; Atar, 2023). Pek çok çalışmada CBS akıllı kentlerin oluşturulması yönüyle incelenmiş ve veri tabanı olarak kullanılmıştır (Varol, 2017; Bulut ve Aslan, 2022; Bayraktar ve diğ., 2022). Karar destek sistemleri bilgi sistemlerinin topladığı ve analiz ettiği verileri önem derecelerine göre ağırlıklandırarak başka bir deyişle etki değerlemesi yaparak akıllı kentler için stratejik kararların sıralanmasında ve değerlendirilmesinde önem taşımaktadır (Keleş ve diğ., 2017; Bulut ve Aslan, 2022). Sistemlerin birbiriyle ve diğer kurumsal bulut veri ve iletişim sistemleriyle alışverişinde ise yapay zeka sistemleri ile otomasyonun sağlanması akıllı kentlerin oluşturulmasında oldukça önemlidir (Akpınar, 2023).

Bu çalışma, kentleşme sürecinin hızla devam ettiği günümüzde yeni teknolojilerle daha yaşanabilir ve sürdürülebilir nitelikte oluşturulacak akıllı kentlerin plan ve tasarımında yerel ve merkezi yönetimler tarafından kullanılacak bilişim sistemlerin amaçlarına göre bir analizi sunulmaktadır. Çalışmada, bilişim sistemleri genel çerçevesi ile incelenerek akıllı kentleşme sürecine ilişkin genel gereksinimler ortaya konulmaktadır. Yöneticiler için bilişim sistemlerine yönelik

eksiklerinin tanımlanmasında ve akıllı kentleşme sürecine yönelik planlama stratejilerinin oluşturulmasında çalışma bilime önemli bir katkı sağlamaktadır.

## 2. KENTLEŞME VE AKILLI KENTLEŞME

Akıllı kent kavramı ilk kez 1960’larda “cybernetically planned cities-sanal olarak planlanan şehirler”, 1980’lerde “networked cities-ağ şehirler” ve 1990’larda “smart growth movement-akıllı büyüme hareketi” olarak ifade edilmiştir (Dameri and Cocchia 2013; Gabrys 2014; Neirotti ve diğ., 2014; Bibri ve Krogstie, 2017). 2000’li yıllardan itibaren gelişen teknoloji ve inovasyon akıllı kent kavramını daha kapsamlı bir hale getirmiştir. Bugünkü akıllı kent kavramı; çevresel faktörlerin dikkate alındığı, kaynakları daha etkin kullanan, enerji tasarrufu sağlayan, daha yaşanabilir, otomasyona dayalı, fonksiyonel, katılımcılık ilkesini esas alan ve rekabet edebilirliği yüksek kentler olarak ifade edilebilir (Nam ve Pardo, 2011; Bibri ve Krogstie, 2017; Çetin ve Çiftçi, 2019).

Akıllı kentlerin oluşumu ve sürdürülebilir geliştirilmesi için akıllı kent bileşenlerinin yönetsel düzeyde oluşturulması gerekmektedir. Avrupa Parlamentosu ve 2020-2023 Ulusal Akıllı Şehirler Stratejisi ve Eylem Planı’na göre akıllı kent bileşenleri tanımlanmıştır (Erdogan 2019). Literatürde genellikle akıllı kent bileşenleri; akıllı çevre, akıllı ekonomi, akıllı yönetim, akıllı yaşam, akıllı ulaşım (hareketlilik) ve akıllı toplum olarak gruplandırılmaktadır (Lombardi ve diğ., 2012; Lugaric ve diğ., 2015; Örselli ve Dinçer, 2019) (Şekil 1).



Şekil 1. Akıllı kent yönetimine ilişkin bileşenler

**Akıllı ekonomi:** Bu bileşen için yerel ve küresel ilişkiler içerisinde girişimcilik ile ticaret ve sanayi sektörlerinin kente çekilmesinin sağlanması önem taşımaktadır. Ekonomide emek yoğunluğundan çok daha inovatif ve zaman ve maliyet yönüyle verimli kullanımlara geçilmesi gerekmektedir. Ürünler kent pazarında diğer kent pazarları ile rekabet eden teknolojik ve inovatif nitelikte olmalıdır.

**Akıllı toplum bileşeni:** Akıllı toplum için 21. yy'a yönelik uzaktan ve katılımcı tekniklerle sürekli yeni nesil eğitim modelleri oluşturmalıdır. Özellikle kent ve akıllı kentleşme modeli içerisinde toplumun yaşadığı ve sorumlu olduğu mekanlarda yönetim süreçlerine katılımları sağlanarak farkındalık düzeylerini artıran uygulamalar gerçekleştirilmelidir.

**Akıllı çevre bileşeni:** Bu bileşen için iklim eylem planlarına uygun olarak kentin yeşil dönüşümü, akıllı konut üretimi, kendi enerjisini kendi üreten ve karbon miktarını azaltan akıllı yapılaşma ve planlama ilkeleri gerçekleştirilmelidir. Kentin içme ve kullanma suyuna ilişkin güvenilir sağlıklı su temininin sağlanmasında çevresel dezenformasyonun önlenmesi, aşırı tüketimi azaltan alternatif arıtma ve akıllı tüketim araçları geliştirilmelidir.

**Akıllı yönetim:** Akıllı bir yönetim için kentte yaşayanların ve misafirlerin temel ihtiyaçlarından mekansal olarak gerekli hizmetlere kadar tüm beklentilerin veri tabanları üzerinde toplanması ve kullanıcılara sanal olarak sunulması gerekmektedir. Kullanıcıların uygun portallar üzerinde 7/24 kamusal erişimi bulunmalı ve veri tabanlarını kullanırken sorgulama, yorumlama ve katkı sağlama imkanları yer almalıdır.

**Akıllı ulaşım (erişilebilirlik, hareketlilik):** Akıllı bir ulaşım için kentte yaşayanlar ve misafirler için karma erişim modelleri içeren yeşil alanlarla entegre edilmiş çevre dostu ulaşım modelleri geliştirilmelidir. Özellikle toplu taşıma, yaşlı, çocuk ve engelliler için hareketlilik, yönlendirme ve erişim sağlayan ulaşım araçları bulunmalıdır.

**Akıllı yaşam:** Akıllı bir yaşam için sağlık, eğitim ve sosyal hizmetlerin her gelirden vatandaş için aynı standartlarda sağlandığı ve inovatif bilişim tekniklerinin kullanılarak hasta, yaşlı, kadın, engelli ve çocukların ihtiyaçlarının kolaylıkla karşılandığı hizmet sektörlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. Kentli için spor, sosyal ve kültürel aktivite alanlarının artırılması ve entelektüel sosyal sermayenin geliştirilmesi hedeflenmelidir.

### 3. AKILLI KENTLEŞMEDE YÖNETİM BİLİŞİM SİSTEMLERİ

Akıllı kentlerin oluşturulmasına ve yönetilmesi için akıllı kent bileşenleri ve özelliklerinin oluşturulması sağlanmalıdır. Bu yapının gerçekleştirilmesi çok kapsamlı bir veri tabanını ve bu veri tabanına ilişkin sonuç üretecek karar destek sistemlerini gerektirmektedir. Bu veri tabanı ve sistemlerin otomasyonu ise yapay zekâ teknikleri ile gerçekleştirilebilir.



### 3.1. Karar Destek Sistemeler

Karar destek sistemleri olarak bilinen bilgisayar tabanlı bilgi sistemleri, karar vericilerin nihai sonuçlara ulaşmalarına yardımcı olmak için teknik bilgileri üretmektedir (Hersh,1999). Bireysel veya grup karar alma süreçlerine doğrudan veya dolaylı destek sağlamayı amaçlayan bu sistemler muhasebe, bilişsel bilim, bilgisayar bilimi, ekonomi, mühendislik, yönetim bilimi ve istatistik gibi çeşitli alanlardaki tekniklerle desteklenmektedir (Mora ve diğ., 2003). Karar destek sistemleri, organizasyonel ve teknolojik gelişmelerin bir sonucu olarak 1970'lerin başından bu yana önemli ölçüde değişmiştir. Bu sistemler basit veri tabanları ve kullanıcı ara yüzleri olarak başlamış ancak teknolojideki ilerlemelerle yetenekleri de genişlemiştir. Günümüzde gruplar arası ve organizasyonlar arası karar almayı kolaylaştırmakta ve web teknolojileri ile web tabanlı platformlar üretmektedir. Mobil teknolojiler, Karar Destek Sistemlerinin işlevselliğini daha da geliştirerek, bu sistemlerin her ortamdaki herkes tarafından erişilebilir olmasını sağlamıştır (Shim ve diğ., 2002). Yapay zekâ teknolojilerinin gelişimiyle daha akıllı hale gelen karar destek sistemleri, karar verme teknikleri veya yapay zekâ algoritmaları kullanarak probleme ilişkin alternatifler üretmekte ve bu alternatiflerin seçilmesi durumunda kararın başarı yüzdesini hesaplamaktadır (Gupta ve diğ., 2022).

Birçok alanda kullanılan karar destek sistemleri akıllı kentleşmede sürdürülebilirliği sağlamak amacıyla en uygun çözümleri önererek daha verimli bütçe yönetimi ve beklenen fayda maksimizasyonu hedefine ulaşmak için önemli bir araçtır (Juan ve diğ., 2011). Karar vericiler için gelecek senaryoların olasılıklarını hesaplayabilen bir karar destek sistemi, alternatif önlemler sunarak karar almaya yardımcı olmaktadır. Bilgiye dayalı teknikleri matematiksel modeller ve algoritmalarla birleştiren bir yazılımdır (Shruti ve diğ., 2022). Karar destek sistemleri akıllı kentleşme sürecinde hava kalitesi, enerji tasarrufu, geri dönüşüm seviyesi, su kalitesi ve ulaşım durumu gibi kriterleri aynı anda göz önünde bulundurarak yüksek doğrulukla değerlendirebilir. Karar destek sistemlerinin başarısının artırılmasında bu kriterlere yönelik verilerin kullanıcılara kullanımı kolay bir bilgi işlem ortamında sunulması önemlidir. CBS, gerçek zamanlı sensörlerden toplanan veriler veya uydulardan algılanan mekânsal verilerin kullanılması ve analiz edilmesiyle karar destek sistemlerinin verimliliğini artıracaktır (Pettit ve diğ., 2018).

### 3.2. Coğrafi Bilgi Sistemeler

CBS mekânsal verileri depolamak, işlemek, analiz etmek ve görselleştirmek için tasarlanmış bir teknolojidir (Vinodkumar, 2016). Yerel yönetimler, CBS tabanlı bilgi sistemlerini kentsel yaşamın birçok farklı probleminin üstesinden gelmek için efektif bir şekilde kullanmaktadır. Hizmetlerini elektronik ortamda sunarak, ulaşılabilir toplu taşıma, katı atıkların ve atık suyun yönetimi, su kalitesinin ve akıllı sayaçların izlenmesi, akıllı otopark ve akıllı

trafik planlaması gibi birçok problemin giderilmesi için CBS ile görsel çözümler önermek mümkündür (Persai ve Katiyar, 2018). Ayrıca, yeşil enerji, su temini, akıllı aydınlatma ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi konular kapsamında faydalanılan CBS, kentsel yeşil şehir konseptinin oluşması için öncü teknolojilerden biridir. Afetlerin yönetiminde hızlı durum tespiti yapılarak bölgesel çözümlerin üretilmesi ve gerekli planlamaların yapılarak uygulanmasında etkilidir (Faisal ve Khan, 2018).

Takep sistemleri, adres kayıt sistemleri, ulaşım bilgi sistemleri, deprem bilgi sistemleri, altyapı bilgi sistemleri, kent bilgi sistemleri, kentsel yönetim bilgi sistemleri, imar bilgi sistemleri, taşınmaz bilgi sistemleri ve vergi bilgi sistemleri gibi CBS tabanlı bilgi sistemleri, farklı sınıflar altında kullanılıyor ve farklı sorunlara çözüm getiriyor olsa da akıllı teknolojilerin entegrasyonu ile CBS karar destek sistemine dönüşerek kentin tüm sorunlarını ele alacak potansiyeli taşımaktalar (Kocalar, 2017). Bu potansiyelin otomasyonunun sağlanarak tam olarak kullanılmasını mümkün kılmak için Yapay Zekâ sistemleri ile entegre edilmesi gerekmektedir. Çağımızın iki teknolojisini bir araya getirerek tasarlanan Yapay Zekâ ve CBS tabanlı karar destek sistemleri, 7/24 otonom ile yönetilen ve her olası senaryo için her zaman hazır olan sistemlerdir. Mevcut verilerle eğitilen ve yeni eklenen verilerle kendi kendini eğitebilen sistemler geleceğe dair tahminler yapabilmektedir. Ayrıca üretilen tahminler sonucunda çözüm alternatifleri önerebilen ve yetki verildiği durumda en iyi alternatifi seçebilen sistemlerin gelecekte akıllı şehirlerin temel yapı taşı haline geleceği söylenebilir (Tarhan, 2022).

### 3.2.1. Kent Bilgi Sistemleri

Kentler mekan ve toplumun buluşma noktası olan yerleşimlerdir (Armağan, 2014). Kenti, yerel halk için sağlık, ekonomik, sosyal, kültürel, eğitim, imar ve tüm diğer beklenti ve ihtiyaçlarına uygun nitelikte yansıtan, şekillendiren ve kullanıcılara sunan bilgi sistemlerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Kent bilgi sistemleri 5393 Sayılı Belediye Kanunu'nun 14. Maddesi gereği Belediyelerin kurmakla yükümlü oldukları görevleri arasındadır (URL 2). Kent Bilgi sistemleri oluşturma amaçlı standartlar belirlenmiş ve pek çok kent mevzuata göre kent bilgi sistemlerini oluşturmuştur. Bu sistemlere yönelik web tabanlı, yeterli teknik nitelikte ve güncellikte oluşturulamaması her kentin yöresel özgünlükleri ve planlama politikalarının farklı olması, sosyal-ekonomik yapıya yönelik etkin kullanımlarının bulunmaması ve toplum tarafından aktif olarak kullanılmaması şeklinde eleştiriler bulunmaktadır (Güney ve diğ., 2013; Çabuk, 2015). Özellikle akıllı kentlerin oluşturulmasında ve yüksek bir performans gösterebilmesinde kullanıcıların kent bilgi sistemlerine yönelik farkındalık oluşturulması, aktif kullanılması, sürekli ve standart nitelikte güncelliğinin sağlanabilmesi ve yeni veri ve dokümanlara yönelik veri üretimi ve paylaşılmasında yönetimlerce açık ve şeffaf olması

beklenmektedir (Calderoni ve diğ., 2012; Ismagilova ve diğ., 2019). Bu kapsamda özellikle nitelikli personel ihtiyacının yanı sıra katılımcı tekniklerle toplumun kent bilgi sistemlerine yönelik farkındalığının artırılması şeffaf ve yatayda oluşacak bir yönetim anlayışı için oldukça önemlidir.

### 3.2.2. Uluslararası Bilgi sistemleri

Coğrafi Bilgi Sistemlerine yönelik ilk bilinen çalışmalar 1963 yılında ulusal arazilerinin tapu kayıtları ile envanterinin oluşturulmasına yönelik Roger Tomlinson önderliğinde Kanada'da gerçekleştirilmiştir (İlgar, 2007; Yetkin ve Bilginer, 2021). Sonraki yıllarda bilgi sistemlerinin oluşturulmasına yönelik pek çok kuruluş ve topluluklar yer almış ve uluslararası çalışmalar yapılmıştır. 1963 yılında kar amacı bulunmayan Kentel ve Bölgesel Bilgi Sistemleri Topluluğu (URISA/ The Urban and Regional Information Systems Association) bilgi sistemlerinin yerel ve bölgesel kalkınmada, sağlık, eğitim, çevresel ve planlama alanlarında kullanılabilmesine yönelik çalışmalar yapmıştır (Kayı ve Yaman, 2021). 1980 yılında kurulan (ISPRS/International Society of Photogrammetry and Remote Sensing) Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama topluluğudur. 1988 yılında Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Analiz Merkezi (NCGIA/National Center for Geographical Information Systems and Analysis) coğrafi bilgi sistemlerindeki teknolojik gelişmelere dayalı olarak gerçekleştirilen anlamlı bilimsel araştırmaları ve analizleri takip eden bir araştırma merkezi olarak kurulmuştur (Bryan ve George, 2003). Açık CBS birliği (OGC/Open GIS Consortium) bilgi ve teknolojilerin gelişmesine paralel nitelikte farklı platformlarda birlikte çalışabilen CBS yazılımlarının ve ara yüzlerinin standardize edilmesini amaçlayan bir kuruluştur (Gürleyen, 2014).

Uluslararası bilgi sistemlerinin oluşturulmasında en önemli veri ve standartlaşmaya yönelik yapılan çalışma INSPIRE direktifidir. Avrupa parlamentosu tarafından 15 Mayıs 2007'de mekânsal veri altyapısını standart ve güncel bir şekilde oluşturmak ve kamu kurumlarının mekansal verilere daha kolay erişmesini ve paylaşmasını sağlamak amaçlı oluşturulmuştur. Direktif, meta veri üretimi sağlamak, veri tekrarını önlemek, güncel veri üretmek, verileri yöneticiler tarafından şeffaf nitelikte kurumlarla paylaşmak, ağ hizmetlerini her kullanıcıya uygun nitelikte geliştirmek, verilerin kullanımına ve paylaşımına yönelik denetleme ve raporlama yapabilmek ve ortak uygulama kurallarına uyabilmeyi gerekli kılmaktadır (Anbaroğlu ve diğ., 2021). Türkiye Haziran 2010 tarihi itibarıyla INSPIRE direktifine ilişkin Yasal Yetkili olarak dahil olmuştur. INSPIRE direktifi ve açık veri üretimi kuruluşları bugün akıllı kentlerin kurulmasında bilgi sistemlerinin standardizasyonu, güncel veri üretimi, paylaşılması ve kurumlar arası veri iletişiminin yürütülmesinde oldukça önem taşımaktadır.

### 3.2.3 Ulusal Bilgi Sistemleri

Ulusal bilgi sistemlerinin oluşturulmasında Çevre Şehircilik ve İklim Bakanlığı tarafından yürütülen önemli projeler yer almaktadır. Bu projelerden Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) ve Geokodlama projeleri standart veri üretimi, veri paylaşımı, koordinasyon, izleme, raporlama ve örnek uygulamalar ile entegrasyon çalışmaları kapsamında yürütülmektedir (URL 3).

TUCBS 2018 yılında Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı olarak tamamlanmış ve tüm sektörler için veri kalitesi ve doğruluğu yüksek, güncel ve dinamik bilgi ve konumsal ve konumsal olmayan bilgi akışı sağlayan bilgi üretim ve paylaşım altyapısına sahip bir misyonla oluşturulmuştur. Bu proje kapsamında Ulusal Coğrafi Bilgi Stratejisi ve Eylem Planı, 11/06/2020 tarihinde 2020/1 karar numarası ile Resmi Gazete’de yayımlanmıştır. Bu proje ile kamu kurum ve kuruluşlarında üretilen verinin ve bilginin standartlaşması, yüksek teknoloji ağı ile birbiriyle olan paylaşımının sağlanması ve böylece iletişimin artırılarak insan kaynaklarının etkin kullanılması ve yönetim boyutunda izleme ve denetlemenin sağlanması amaçlanmaktadır (Anbaroğlu ve diğ., 2021).

Bir diğer ulusal bilgi sistemi projesi de 2015 yılında INSPIRE direktifine uygun nitelikte coğrafi verilerin iyileştirilmesi ve uyumlaştırılmasını sağlamak için Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü’nün Türkiye genelinde yürüttüğü Geokodlama projesidir (Kılıç, 2017). Proje ile coğrafi verinin ortofoto haritalar üzerinden INSPIRE direktifine uygun nitelikte altyapısının ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Bu proje belirli illerin il ve ilçe merkezlerinde yürütülmüş ve bina ve yol ağlarına ilişkin 1/1000 ölçekli coğrafi veri üretilmiştir.

TUCBS ve Geokodlama projelerinin her biri veri standarttı sağlandığı takdirde akıllı kentlerin kurulmasında ve yönetilmesinde önemli bir alt yapı sağlayacaktır.

### 3.3. Yapay Zeka Sistemleri

Alan Turing’in 1950’li yıllarda “Düşünme Makinesi” adlı makalesinin yayınlanmasının ardından bu fikri geliştirmeye devam ettiren başta John McCarthy olmak üzere birçok araştırmacının katkılarıyla yeni Yapay Zeka bilim alanı doğmuştur (Warwick, 2013). Yapay zekanın erken gelişim dönemlerinde sadece insanların beyinlerinin çalışma mekanizmasını taklit etmesi üzerine odaklanılmıştır. Erken dönemde geliştirilen tekniklerin istenen düzeyde başarı sağlayamaması ve bilişim altyapısının yeterli düzeyde olmaması yapay zekanın gelişimini duraksatmıştır. İlerleyen yıllarda insan beyni haricinde birçok doğa fenomenleri taklit edilerek gerçek dünya problemlerine çözüm bulunabileceği keşfedilmiştir. Bu dönemlerde uzman sistemler, genetik algo-

ritmalar, arı kolonisi optimizasyonu, bulanık mantık, destek vektör makinesi ve karar ağaçları gibi teknikler geliştirilmiştir (Ghanbari ve diğ., 2018). Ancak makine öğrenmesi temelli daha karmaşık mimariler üzerine araştırmalar çok hızlı olmamakla beraber yine de devam etmiştir.

İnternetin, bilgi işleme gücünün ve veri toplama araçlarının gelişmesi ile modellerin eğitimi gereken veri daha kolay elde edilebilir ve yönetilebilir hale gelmiştir. Makine öğrenmesi temelli yapay sinir ağları 2000'li yıllarda hızlı gelişim göstererek bugünün en başarılı teknikleri arasında ilk sırada yerini almıştır. Yapay sinir ağları, kendisine verilen tüm görevlerin tam olarak nasıl yerine getirileceğini açıklanmak zorunda kalmadan yerine getiren ve performansını iyileştirmeye devam eden bir teknik olarak tanımlanmaktadır (Brynjolfsson ve McAfee, 2017). Yapay sinir ağları öncesi insanlar bilişim sistemlerine ne yapması gerektiğini harfiyen tarif etmek zorunda kaldığından ve günlük hayatta karşılaşılabilecek tüm senaryoları tarif etmek mümkün olmadığından birçok görevi otomatikleştirmede başarısızlığa uğramıştır. Yapay sinir ağları ise mükemmel bir öğrenci gibi eldeki verilerle yeterince eğitildiğinde hiç karşılaşmadığı durumlar karşısında doğru veya doğruya yakın kararlar verebilmektedir. Ayrıca eğitim için kullanılan veri içindeki karmaşık bilişsel bağlantıları tespit ederek geleceğe yönelik tahminleri yapabilmektedir (Dongare ve diğ., 2012).

Adını ve grafiksel gösterimini biyolojik sinir hücresinden almasını rağmen yapay sinir ağları tekniği, tam olarak aynı işleyiş prensibine sahip değildir. Yapay sinir ağları tekniği biyolojik sistemin doğrusal olmama, yüksek paralellik, sağlamlık, hata ve hata toleransı, öğrenme, kesin olmayan ve bulanık bilgileri işleme ve genelleştirme yeteneği örnek olarak geliştirilmiştir (Basheer ve Hajmeer, 2000). Yapay sinir hücresi dış dünyadan gelen verilerinin beslendiği giriş katmanı, karmaşık matematiksel hesaplamaların yapıldığı gizli katmalardan ve sonucun dış dünyaya aktarıldığı çıkış katmanından meydana gelmektedir. Gizli katmanların birden fazla olması durumunda bir katmandan elde edilen çıktı bir sonraki katmana girdi verisi olarak beslenir. Her katmana gelen veriler ağırlıklarla çarpılarak toplama fonksiyonuna tabi tutulur, daha sonra aktivasyon fonksiyonu aracılığıyla bir sonraki katmana aktarılır. Çıkış katmanından elde edilen sonuç istenen sonuç arasındaki fark dikkate alınarak ağırlıklarda değişiklik yapıldıktan sonra giriş katmanında başlayarak tüm işlemler tekrar edilir (Huang, 2009). Bu işlem eğitim başarısı gelişme gösterdiği sürece veya istenilen sonuca ulaşınca kadar devam eder. Eğitim sürecindeki her tekrar çevirim olarak adlandırılmaktadır. Son geliştirilen ve birçok gerçek dünya problemlerinin üstesinde gelebilen Derin Öğrenme tekniği, yapay sinir ağları temelleri üzerine inşa edilmiş daha fazla katmandan oluşan derin mimarilerdir (Walczak, 2019).

#### 4. SONUÇ

Kentleşme sürecinin iyileştirilmesinde ve kentlerin geleceğe yönelik yaşanabilir ve sürdürülebilir planlanmasında akıllı kentlere geçiş sürecinin başlaması gerekmektedir. Kentin mevcut durumu ve artan sorunlarına yönelik bilgilerin toplanması ve bu bilgilere göre bir karar verilerek uygun müdahalelerin yapılması ve tüm bu sürecin izlenmesi, denetlenmesi ve yaşayanlara sunulması yüksek bilişim teknolojilerini ve sistemsel yönetim alt yapısını gerektirmektedir.

Bu çalışma, akıllı kentlerin oluşturulmasında hangi yönetim ve bilişim sistemlerinin bulunması gerekliliğini ve bu sistemlerin temel yapılarını ve kullanım özelliklerini ortaya koyarak incelemiştir. Kent perspektifinden CBS'nin konumsal ve konumsal olmayan nitelikte veriler için önemli bir bilişim sistemi olduğu görülmektedir. Karar destek sistemleri, CBS kapsamında kentin çok boyutlu ve karmaşık kriterlerine yönelik elde edilen veri tabanının yönetilmesinde ve doğru karar verme kapasitesinin artırılmasında oldukça önem taşımaktadır. Bu sistemlerin başarılı bir şekilde yönetilmesinde ve kullanıcıya uygun ara yüzlerde sunulmasında yapay zeka tekniklerine ve otomasyon yeteneklerine ihtiyaç bulunmaktadır.

Sonuç olarak, mutlu toplum, mutlu kent ve mutlu yönetim anlayışı ile bilişim teknolojilerini birleştiren bir yapı akıllı kentleşmeyi gerçekleştirilebilir. Bu kapsamda yönetimde teknolojinin ihtiyacı olan bilişim sistemlerinin incelenmesi gerekmektedir.

## KAYNAKÇA

- Akpınar, M. T. (2023). Akıllı Şehirler ve Yapay Zeka. *TYB Akademi Dil Edebiyat & Sosyal Bilimler Dergisi*, (37).
- Anbaroğlu, B., Güllüoğlu, N., Bilgin, G. ve Aydinoğlu, A. Ç. (2021). Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi Ulaşım Veri Temasının Katılımcı Coğrafi Bilgi Yaklaşımıyla Güncellenmesi. *Geomatik*, 6(2), 115-123.
- Armağan, V. (2014). Toplum, mekan ilişkisi açısından kentsel dönüşüm: Yeni Mamak Kentsel Dönüşüm ve Gelişim Projesi örneği (Master's thesis, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Atar, M. (2023). *Mekansal karar destek sistemleri ile suç tahmin modeli: Ankara ili hırsızlık suçu örneği*. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Aksaray
- Basheer, I. A., ve Hajmeer, M. (2000). Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application. *Journal of microbiological methods*, 43(1), 3-31.
- Bayraktar, H., Bayar, D. Y., Kara, B., Güven, H., Sengör, E. S., ve Eriş, Ö. F. Akıllı Şehirler Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri. VIII. *Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2022)*, 17-19 Kasım 2022, Ankara
- Bibri, S. E., ve Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. *Sustainable cities and society*, 31, 183-212.
- Bozkurt, Y., ve Ayfer, R. (2018). Göçün kentleşme üzerindeki etkisi: Kütahya il örneği. *Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (57), 144-162.
- Bryan, K. N., ve George, R. (2003). Geographic information systems. The methods and materials of demography, 733.
- Brynjolfsson, E., ve McAfee, A. (2017). Artificial intelligence, for real. *Harvard business review*, 1, 1-31.
- Bulut, Y., ve Aslan, M. M. (2022). Göç Yönetiminde Akıllı Kent Uygulamalarının Rolü: Açık Veri Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri. *Dicle Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12(24), 135-148.
- Çabuk, S. (2015). CBS'nin yerel yönetimlerde kullanımı ve Kent Bilgi Sistemleri. *Hari-ta Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(3), 69-87.
- Calderoni, L., Maio, D., ve Palmieri, P. (2012). Location-aware mobile services for a smart city: Design, implementation and deployment. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 7(3), 74-87.
- Çatalbaş, F. (2016). Yozgat şehir merkezinin başlıca kentleşme sorunları ve çözüm önerileri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 32(1), 1-10.
- Çetin, M., ve Çiftçi, Ç. (2019). Literatüre göre dünya ve ülkemizden örneklerle akıllı kent kavramının irdelenmesi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(3), 134-143.



- Dameri, R., ve Cocchia, A. (2013). Smart city and digital city: Twenty years of terminology evolution. *X conference of the italian chapter of AIS, ITAIS 2013*, 18;18.
- Dongare, A. D., Kharde, R. R., ve Kachare, A. D. (2012). Introduction to artificial neural network. *International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, 2(1), 189-194.
- Erdem, A. D., Yavaş, İ., ve Bilgili, A. (2023). Sanayileşme Perspektifinden Şehirlerin Dönüşümü: Bursa Örneği. *TroyAcademy*, 8(2), 210-234.
- Erdoğan, G. (2019). Akıllı Kent Göstergeleri ve Stratejileri. *Yönetim Bilişim Sistemleri Dergisi*, 4(2), 1-23.
- European Parliament, Mapping Smart Cities in the EU, (2014). [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPOL-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)
- Faisal, A., ve Khan, H. (2018). Application of GIS and remote sensing in disaster management: A critical review of flood management. In *International Conference on Disaster Risk Mitigation*.
- Gabrys, J. (2014). Programming environments – environmentality and citizen sensing in the smart city. *Environment and Planning D: Society and Space*, 32, 30–48.
- Ghanbari, A., Abbasian-Naghneh, S., ve Hadavandi, E. (2011, April). An intelligent load forecasting expert system by integration of ant colony optimization, genetic algorithms and fuzzy logic. In *2011 IEEE symposium on computational intelligence and data mining (CIDM)* (pp. 246-251). IEEE.
- Gupta, S., Modgil, S., Bhattacharyya, S., ve Bose, I. (2022). Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research. *Annals of Operations Research*, 1-60.
- Güney, C., Doğru, A.Ö., Başaraner, M., Çelik, R.N. ve Uluđtekin, N., (2013), “TUCBS’ye Giden Yolun Neresindeyiz? Türkiye Ulusal Mekânsal Veri Altyapısı İçin Nasıl Devam Etmeliyiz?”, *TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, Ankara.
- Gürleyen, S. B. (2014). Bilgi merkezlerinde coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı: Coğrafi bilgi sistemleri ile bilgi merkezlerindeki konumsal verilere erişim ve dijital coğrafi arşivler yaratma. *Uluslararası Kültürel Mirasın ve Kültürel Bellek Kurumlarının Yönetimi Kongresi: ÜNAK 2014 Bildiriler Kitabı: 17-20 Eylül 2014*, 327-338.
- Hersh, M. A. (1999). Sustainable decision making: the role of decision support systems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 29(3), 395-408.
- Huang, Y. (2009). Advances in artificial neural networks–methodological development and application. *Algorithms*, 2(3), 973-1007.
- İlgar, R. (2007). Fiziki Coğrafiyanın Önemli Bir Konusu Gıs (Coğrafi Bilgi Sistemi)’E Yönelik Kuramsal Yaklaşımlar ve Eğitimi. *Çađ Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(2), 53-65.
- Ismagilova, E., Hughes, L., Dwivedi, Y. K., ve Raman, K. R. (2019). Smart cities: Ad-



- vances in research—An information systems perspective. *International Journal Of Information Management*, 47, 88-100.
- Juan, Y. K., Wang, L., Wang, J., Leckie, J. O., ve Li, K. M. (2011). A decision-support system for smarter city planning and management. *IBM Journal of Research and Development*, 55(1.2), 3-1.
- Kayı, G. ve Yaman, M. (2021). Türkiye’de Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uygulaması. *Efe Akademi Yayınları*.
- Keleş, A., Keleş, A., ve Akçetin, E. (2017). Pazarlama Alanında Yapay Zekâ Kullanım Potansiyeli ve Akıllı Karar Destek Sistemleri. *Electronic Turkish Studies*, 12(11).
- Kılıç, B. (2017). Adrese dayalı coğrafi kodlama işleminde kalite araştırması (Master’s thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kocalar, A. C. (2017). Life Cycle Data Analysis for Smart Cities and Support with Geographic Information System (GIS). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 285-293.
- Lombardi, P., Giordano, S. Farouh, H. ve Yousef, W. (2012). Modelling The Smart City Performance. *Innovation: The European Journal of Social Science Research*, 25(2), 137-149.
- Lugaric, L., Krajcar, S. ve Simic, Z. (2015). Smart city - platform for emergent phenomena power system testbed simulator, *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe)*. 11-13 Oct. 2010
- Mora, M., Forgionne, G.A., Gupta, J.N.D. (2003). Decision-making Support Systems: Achievements, Trends, And Challenges For The New Decade. *Ideal Group Publishing*. USA.
- Nam, T., ve Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *Proceedings of the 12th annual international conference on digital government research*
- Neirotti, P., De Marco, A., Cagliano, A. C., Mangano, G., ve Scorrano, F. (2014). Current trends in smart city initiatives – some stylized facts. *Cities*, 38, 25-36
- Örselli, E., ve Akbay, C. (2019). Teknoloji ve kent yaşamında dönüşüm: akıllı kentler. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(1), 228-241.
- Örselli, E., ve Dinçer, S. (2019). Akıllı kentleri anlamak: Konya ve Barcelona üzerinden bir değerlendirme. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 2(1), 90-110.
- Persai, P., ve Katiyar, S. K. (2018). Development of information evaluation system for smart city planning using geoinformatics techniques. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(11), 1881-1891.
- Pettit, C., Bakelmun, A., Lieske, S. N., Glackin, S., Hargroves, K.C., Thomson, G., Shearer, H., Dia, H. ve Newman, P. (2018). Planning support systems for smart cities. *City, culture and society*, 12, 13-24.
- Sadioğlu, U., ve Dinç, B. (2019). Yaşam boyu öğrenme ve akıllı kentler. *Kamu Yönetimi ve Teknoloji Dergisi*, 1(1), 63-88.

- Shim, J. P., Warkentin, M., Courtney, J. F. ve Power, D. J., Sharda, R., ve Carlsson, C. (2002). Past, present, and future of decision support technology. *Decision support systems*, 33(2), 111-126.
- Shruti, S., Singh, P. K., Ohri, A., ve Singh, R. S. (2022). Development of environmental decision support system for sustainable smart cities in India. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 41(5), e13817.
- Tarhan, C. (2022). GIS-based management. *Artificial Intelligence Perspective for Smart Cities*, 45-53.
- Uçar, A., Şemşit, S., ve Negiz, N. (2017). Avrupa Birliği Akıllı Kent Uygulamaları Ve Türkiye'deki Yansımaları. *Suleyman Demirel University Journal of Faculty of Economics & Administrative Sciences*, 22.
- Usta, H. K. (2020). Planlı Kentleşme Ve Rant İlişkisi: Şanlıurfa Örneği. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 18(48), 1-22.
- Walczak, S. (2019). Artificial neural networks. In *Advanced methodologies and technologies in artificial intelligence, computer simulation, and human-computer interaction* (pp. 40-53). *IGI global*.
- Warwick, K. (2013). *Artificial intelligence: the basics*. *Routledge*.
- Varol, Ç. (2017). Sürdürülebilir gelişmede akıllı kent yaklaşımı: Ankara'daki belediyelerin uygulamaları. *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 26(1), 43-58.
- Vinodkumar, T. M. (Ed.). (2016). *Geographic information system for smart cities*. *Copal Publishing Group*.
- Yomralıoğlu, T., 2002. Coğrafi bilgi sistemleri temel kavramlar ve uygulamalar, *Aka-demik Kitabevi*, 2. Baskı, Trabzon.
- Yetkin, M., ve Bilginer, Ö. (2021). Haritacılık Tarihinde Bir Yolculuk. *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 3(1), 1-9.

İnternet Kaynakları:

URL1: <https://www.akillisehirler.gov.tr/wp-content/uploads/EylemPlani.pdf> (Erişim Tarihi: 28.02.2024)

URL2: <https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=5393&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5> (Erişim tarihi: 03.03.2024)

URL3: <https://cbs.csb.gov.tr/proje-bilgileri-i-5995> (Erişim Tarihi: 03.03.2024)

# BÖLÜM 12

## **BAZALTİK POMZADAN ELDE EDİLEN CAM SERAMİKLERİN KARAKTERİZASYONU<sup>1</sup>**

*Suna ÇETİN YETER<sup>2</sup>*



<sup>1</sup> Suna ÇETİN, " Deli Halil (Osmaniye) bazaltik pomzalarının cam seramik yapımında kullanım olanakları ve karakterizasyonu", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2012

(Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa AKYILDIZ)

<sup>2</sup> Dr. Öğr. Üyesi., Çukurova Üniversitesi, Güzel Sanatlar Fakültesi, Seramik Bölümü, cetins@cu.edu.tr, 0000-0003-0210-237X.

## 1. GİRİŞ

Camlar aşırı soğutulmuş sıvılar olarak kabul edilebilir ve bu nedenle kristalleşebilirler (Zanotto ve ark., 2017). Pratik açıdan bakıldığında, amorf cam, yapı içindeki kristallerin gelişimi, uygun bir kimyasal bileşim ve kontrollü kristal çekirdeklenmesini ve büyümesini destekleyen tasarlanmış ısı işlem döngülerini gerektirir. Ortaya çıkan malzemelere cam-seramik adı verilir ve genel olarak temel camdan daha iyi özellikler sunar (Holand ve ark., 2012; Casasola ve ark., 2012). Bu nedenle özellikle yüksek mekanik dayanım, aşınma ve korozyon direnci gerektiren uygulamalar için uygundur (Khater ve ark., 2012; Yılmaz ve ark., 1996).

Ancak bu seramiklerin üretimi, çoğunlukla yüksek erime sıcaklıkları ve uzun ısı işlemlerden dolayı sentetik hammadde gerektirebilir ve oldukça maliyetli olabilir (Karamanov ve Pelino, 2001). Alkali ve alkalın toprak silikatlar, alüminosilikatlar, florosilikatlar, silikofosfatlar ve demir silikatlar ve fosfatlar içeren bileşimler genellikle yaygın bir çekirdeklenmeye ve camsı matris içinde ince taneli ve rastgele yönlendirilmiş kristallerin oluşumuna olanak tanır (Holand ve ark., 2012; Casasola ve ark., 2012). Yaygın olarak bulunabilen ve doğal olarak oluşan silikat bazlı hammaddeler, yani bazaltlar gibi demir açısından zengin silikatlar, kısa üretim döngülerinde cam seramik elde etmek için kullanılmıştır. Yer kabuğunda bulunan bazaltlar  $\sim 1500^{\circ}\text{C}$ 'de eritilebilir (Gill, 2010). Erimiş bazaltlar su ile soğutulursa camı oluşturur. Isıl işlem uygulandığında bu tür camlar kendiliğinden çok çeşitli özelliklere sahip cam-seramik malzemeler oluşturabilir, dolayısıyla büyük bilimsel, teknolojik ve ekonomik öneme sahiptir (Holand ve ark., 2012; Khater ve ark., 2012).

Cam-seramik sisteminde  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  gibi çekirdeklendirici maddeler, fazların toplu kristalleşmesini sağlamak ve kristalleşme tepe sıcaklığını azaltmak için kullanılmaktadır. Birçok araştırmacı, mika bazlı cam seramiklerde  $\text{TiO}_2$ 'nin çekirdeklendirici bir madde olarak etkilerini vurgulayarak ve az miktarda titanya ilavesinin kristalleşme süreçleri üzerinde dikkate değer bir etkisi olduğunu gözlemlemiştir. (Casasola ve ark., 2012). Yapılan birçok araştırmada  $\text{TiO}_2$ 'nin birçok silikat sistemlerde iyi bir çekirdeklendirici ajan olarak kullanılabilirliği ortaya konulmuştur. Bu çalışmanın amacı, bazaltik pomzadan ucuz cam-seramik malzeme elde etme olasılığını ve çekirdeklendirici ajan  $\text{TiO}_2$  ilavesinin kristalleşebilirlik üzerindeki etkisini araştırmaktır (Mukherjee ve Dass, 2014).

## 2. MATERYAL VE METOD

Bazaltik pomza Türkiye'nin güney bölgesinden temin edilmiştir. Diskli değirmende tane boyutu küçültülen bazaltik pomza, bilyalı değirmende kuru olarak öğütülerek toz haline getirilmiştir. Daha sonra 90  $\mu\text{m}$ 'nin altındaki parçacık boyutu fraksiyonu kullanılarak kimyasal bileşimi X-ışını floresans

spektrometresi (Panalytical Axios XRF, Kaleseramik Ar-Ge Merkezi, Türkiye) ile belirlenmiştir.

Bazaltik pomzanın kimyasal kompozisyonu Tablo 1’de verilmiştir. Bazaltik pomza başlıca  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , CaO ve MgO bileşiklerini içermektedir.

Öğütülmüş bazaltik pomza, laboratuvar ölçekli deney fırınında  $1450^\circ\text{C}$ ’de 3 saat süre ile cama (BG= bazalt camı) dönüştürüldü. İçi su dolu kaba dökülen cam taneleri toplanarak  $80^\circ\text{C}$ ’de kurutuldu ve daha sonra akık bilyeli değirmeni kullanılarak ince tozlar haline getirildi.

**Tablo 1.** Bazaltik pomzanın kimyasal analizi

Bazaltik pomza (% Ağırl.)							
$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	CaO	MgO	$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$
44.10	14.50	13.70	3.03	9.92	8.79	3.82	1.62

Fraksiyonun 90 um’ın altında tutulması amacıyla tozlar elendi. %2, %4 ve %6  $\text{TiO}_2$  katkılı bazaltik pomza aynı süreçlerden geçerek cam haline dönüşmeleri sağlandı ve sırasıyla BG2, BG4 ve BG6 olarak kodlandı.

Optimum koşulları (cam geçiş sıcaklığı vb) belirlemek amacıyla dilatometrik analiz ve diferansiyel analiz (DTA) (Perkin-Elmen Diamond, Türkiye,  $10^\circ\text{C}/\text{dk}$  ısıtma hızında çalışan), BG, BG2, BG4 ve BG6 kodlu üzerinde gerçekleştirildi. BG, BG2, BG4 ve BG6 kodlu cam numuneleri kül fırınında (Prometheus Model RMP-8 Marka) optimum sıcaklık ve sürede kristal büyütme işlemine tabi tutularak cam seramiğe dönüştürülmüştür.

Kristalin faz tanımlaması, toz haline getirilmiş cam-seramik numunelerinin X-ışını kırınım analizi ( $2\theta=10^\circ-90^\circ$ ) ile gerçekleştirildi. Ni filtreli Cu radyasyonunu benimseyen Bruker D8 Advance marka X-ışını kırınım desenleri elde edildi.

BG, BG2, BG4 ve BG6 kodlu numunelerde oluşan mikroyapılar, taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir.

Cam-seramik örneklerin Vickers sertlikleri, mikrosertlik cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Test, 100 g’lık bir yük kullanılarak yapıldı. Tüm kristal numuneler için yükleme süresi sabitlendi (15 saniye).

Eğilme mukavemeti,  $0,5\text{ mm}/\text{dak}$  çapraz kafa hızında bir test makinesi kullanılarak cilalanmamış üretilmiş test parçaları üzerinde ölçülen, hazırlanmış cam seramiklerin üç noktalı eğilme mukavemeti ile değerlendirildi.

Kimyasal maddelere karşı dayanımını belirlemek amacıyla test reaktifi olarak %5 HCl çözeltisi kullanıldı. Ağırlığı bilinen ve açıkta kalan yüzeye

(yaklaşık 20 cm<sup>2</sup>) sahip numuneler, 90° ± 2°C sıcaklıktaki bu çözeltili çeşitli sürelerle daldırıldı. Daha sonra örnekler distile su ile yıkandı, 105°C’de kurutuldu ve tekrar tartıldı. Test zamanı 24 saat olarak sabitlendi. Dayanıklılık, maruz kalan yüzey birimi başına ağırlık kaybı cinsinden temsil edildi.

Cam-seramik örneklerinin yoğunluğu oda sıcaklığında damıtılmış su içerisinde Arşimet yöntemiyle belirlendi.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

665°C’de 3 saat bekletilen cam numune en düşük kristalizasyon sıcaklık değeri göstermiştir (Tablo 2). Minimum kristalizasyon sıcaklığı için optimum çekirdeklenme sıcaklığı 665°C olarak belirlenmiştir. Optimum süreyi belirlemek için BG cam örneği optimum çekirdeklenme sıcaklığında (665°C) 2,3 ve 4 saat bekletilmiştir. Yapılan DTA analizi sonucunda optimum çekirdeklenme sıcaklığı 665°C ve en düşük kristalizasyon sıcaklığının elde edildiği optimum süre 3 saat olarak belirlenmiştir. BG2, BG4 ve BG6 kodlu cam numunelerinin de cam geçiş sıcaklığı ve kristalizasyon sıcaklığının BG camı ile yakın değerde olduğu saptandığından çekirdeklenme ve kristalizasyon sıcaklıkları BG camı ile aynı sıcaklık değerinde alınmıştır.

**Tablo 2.** BG camının kontrollü ısıtma işlem programı

Bileşim	Çekirdeklenme		Kristalizasyon Sıcaklığı (°C)
	Sıcaklık (°C)	Süre (Saat)	
BG	650	1	825.44
	665	1	824.51
	665	2	824.95
	<b>665</b>	<b>3</b>	<b>822.2</b>
	665	4	824.76
	665	5	825.55
	680	1	825.17
	700	1	838.40
	700	3	838.48
	720	1	839.47
	720	3	823.56

Optimum çekirdeklenme sıcaklığı ve süresi belirlendikten sonra kristalizasyon sıcaklığının 10°C üstü (Erol ve ark., 2006) sıcaklıkta yapılan kristal büyütme işlemi cam örneklerine uygulanmıştır. Optimum çekirdeklenme süresi ve optimum çekirdeklenme sıcaklıkları belirlendikten sonra BG, BG2, BG4 ve BG6 kodlu cam numuneleri kül fırınında (Prometheus Model RMP-8 Marka) 665°C’ye kadar 10°C/dak ısıtma hızıyla ısıtılıp bu sıcaklıkta 3 saat

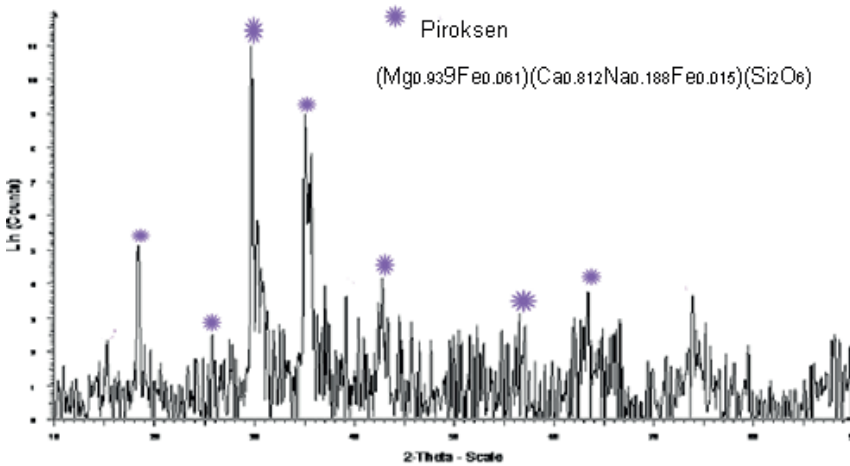
boyunca bekletilip, daha sonra sıcaklık 832°C'ye kadar yükseltilerek bu sıcaklıkta da belirli sürelerde (1-4 saat) bekletilmiş ve kristal büyüme işlemi yapılarak cam seramik üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3'de BG camının  $TiO_2$  oranına göre cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları verilmiştir.  $TiO_2$  katkısının, silika bazlı ağ yapısında bulunan köprü yapıcı oksijenlerin sayısının azalmasına ve viskozitenin düşmesine neden olduğu söylenebilir (Nagarajan ve Jahanmir, 1996).

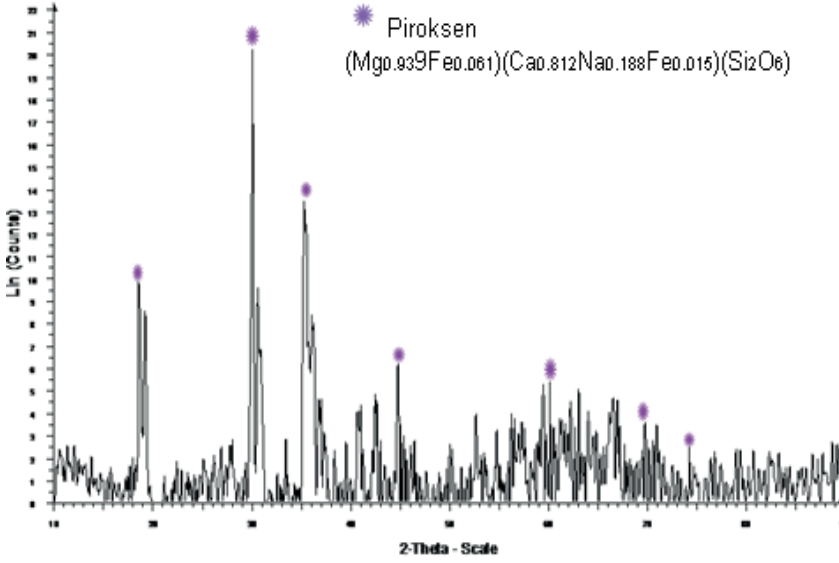
**Tablo 3.** Bazaltik pomza camının  $TiO_2$  oranına göre cam geçiş ve kristalizasyon sıcaklıkları

Numune	Cam geçiş (Tg) sıcaklığı (°C)	Kristalizasyon (Tc) sıcaklığı (°C)
BG	654	828
BG2	651	829
BG4	650	825
BG6	653	829

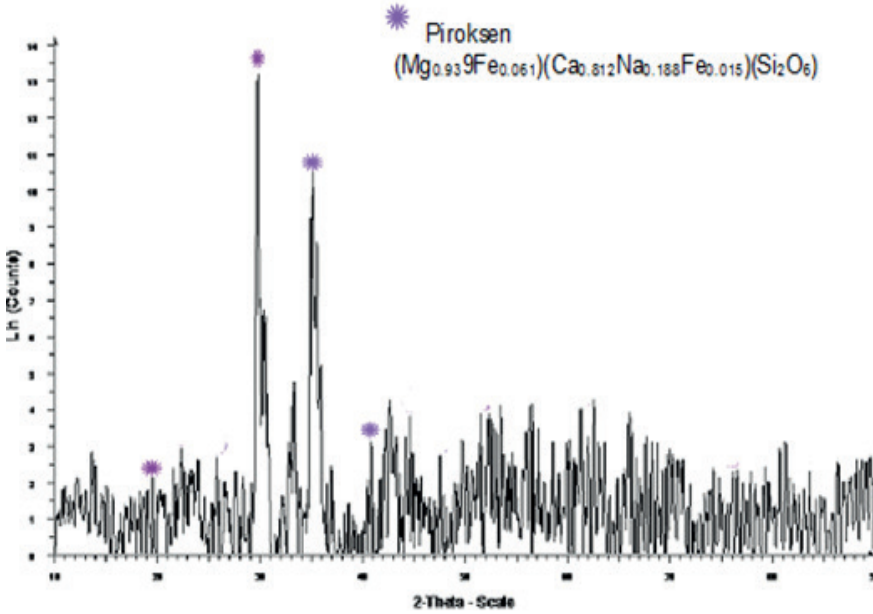
Isıl işlem görmüş BG, BG2, BG4 ve BG6 kodlu cam seramik örneklerin XRD desenleri Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4'de görülmektedir. BG, BG2 ve BG4 kodlu örneklerin kristal fazlarında piroksen ( $Mg_{0.939}Fe_{0.061}$ )( $Ca_{0.812}Na_{0.188}Fe_{0.015}$ )( $Si_2O_6$ ) ve BG6 kodlu örneğin kristal fazında ise piroksen fazının yanında hematitin ( $Fe_2O_3$ ) olduğu görülmektedir.



**Şekil 1.** BG kodlu cam-seramik örneğin XRD analizi

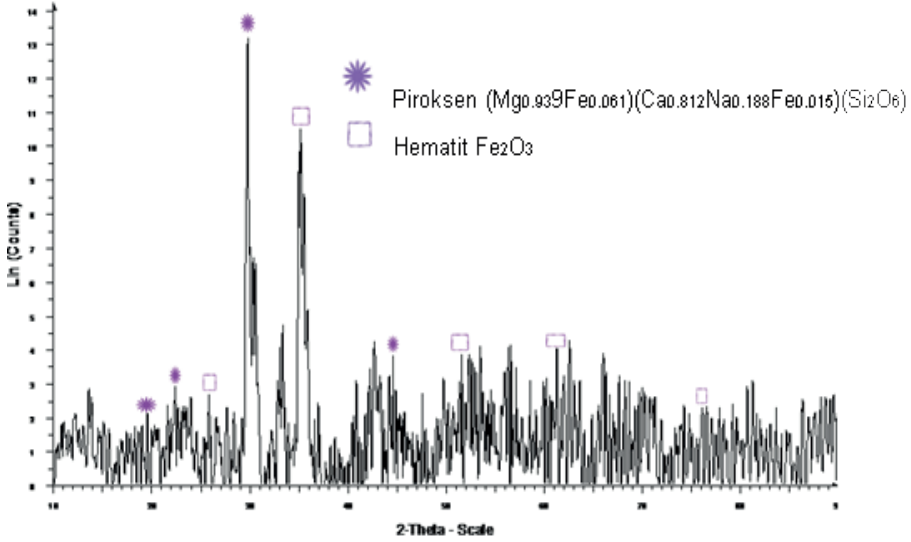


Şekil 2. BG2 kodlu cam-seramik örneğin XRD analizi



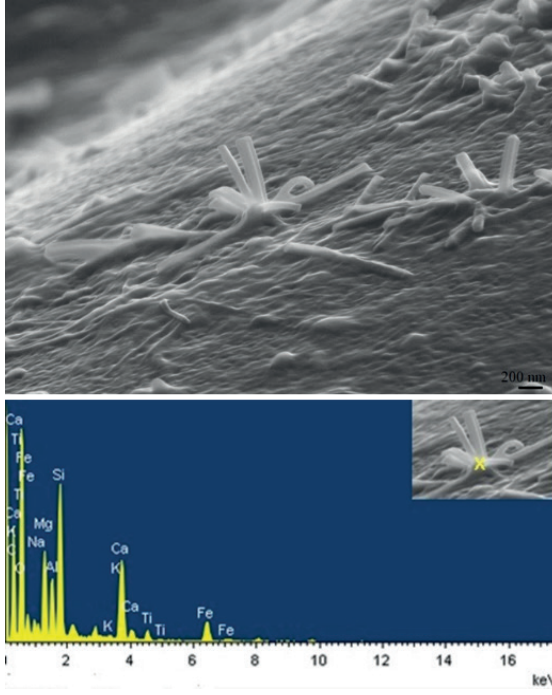
Şekil 3. BG4 kodlu cam-seramik örneğin XRD analizi



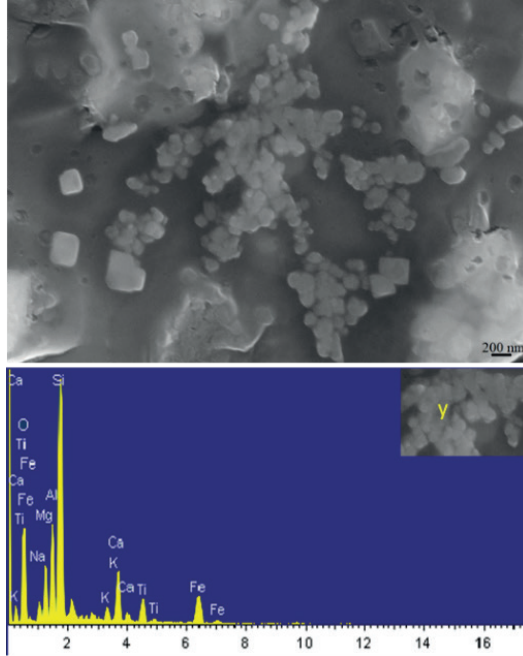


Şekil 4. BG4 kodlu cam-seramik örneğin XRD analizi

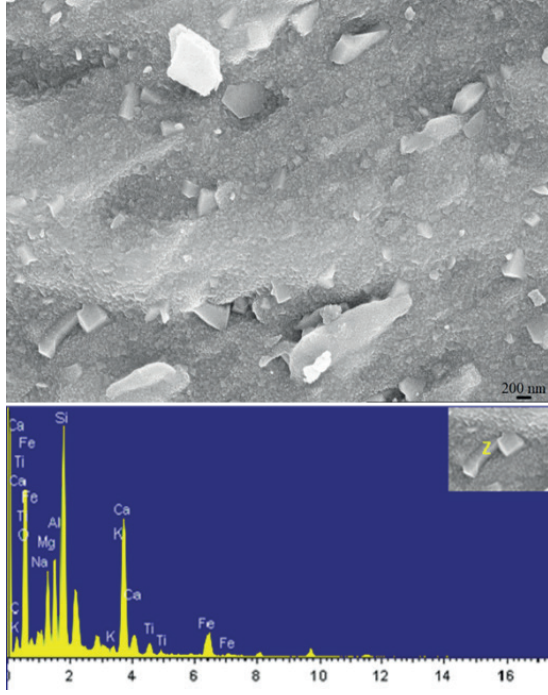
$Fe^{2+}$ 'nin oksidasyonu nedeniyle cam yüzeyinde hematitin varlığı, camın büyük kısmında ise piroksenin ana kristal faz olduğu elektron mikroskopu görüntülerinde (Şekil 5, Şekil 6, Şekil 7) gözlenmektedir. Piroksen grupları yüksek demir içeren silikat camlarda kolaylıkla kristalleşir (Shahsavari ve ark., 2020). Demir açısından zengin cam bileşimlerinde, sinter-kristalizasyon süreci daha karmaşıktır çünkü piroksen tercihen yığın halinde oluşurken hematit ( $Fe_2O_3$ )  $FeO$ 'nun oksidasyonu sonucu yüzeyde oluşur (Karamanov ve ark., 1999).  $Fe$  açısından zengin bileşimlerde, oksitleyici bir atmosferde (hava) ve yüksek sıcaklıklarda  $Fe^{2+}$ 'nin  $Fe^{3+}$ 'ya oksidasyonu yüzeyde hematit oluşumuna yol açar, bu da kristalleşme davranışını ve dolayısıyla cam-seramik malzemenin nihai özelliklerini etkiler (Lima ve ark., 2021). Hazırlanan cam seramiklerde  $TiO_2$  içeriğinin artmasıyla üç boyutlu ve homojen kristal büyümleri gözlenmiştir. Buna göre BG6 cam-seramik örneği en yüksek  $TiO_2$  katkısından dolayı üç boyutlu kristal büyümesi Şekil 8'de net bir şekilde görülmektedir.



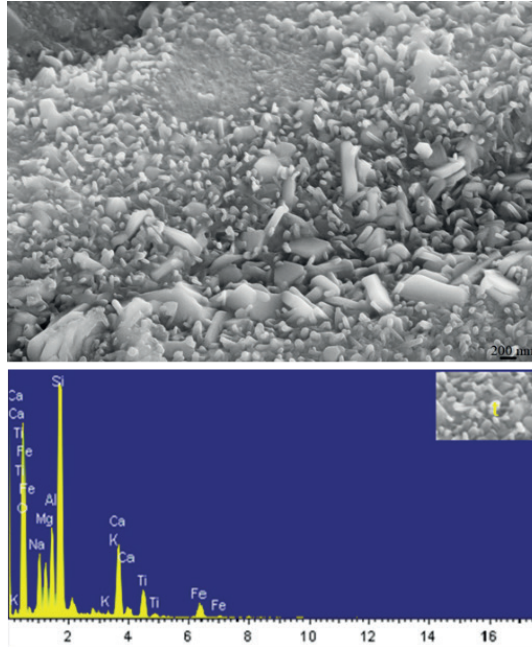
Şekil 5. BG cam-seramik örneğin temsili taramalı elektron mikroskobu görüntüsü ve EDX analizi



Şekil 6. BG2 cam-seramik örneğin temsili taramalı elektron mikroskobu görüntüsü ve EDX analizi



Şekil 7. BG4 cam-seramik örneğin temsili taramalı elektron mikroskobu görüntüsü ve EDX analizi



Şekil 8. BG6 cam-seramik örneğin temsili taramalı elektron mikroskobu görüntüsü ve EDX analizi

Tablo 4’de cam-seramik örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri görülmektedir. Örneklerin sertlik ve eğilme dayanımı değerleri  $TiO_2$  katkı oranına bağlı olarak artış göstermiştir. Buna göre BG6 örneği en yüksek sertlik ve eğilme dayanımı sergilemiştir.  $TiO_2$  katkısının yoğunluk değerlerinde herhangi bir değişikliğe neden olmadığı görülmektedir. Piroksen bazlı cam seramiklerin geliştirilmiş kimyasal ve mekanik özellikleri nedeniyle çok çekici malzeme olmaları (Torres ve Alarcon, 2004), çalışmada elde edilen cam-seramik örneklerin Tablo 4’den de görüleceği üzere kimyasallara karşı dayanım göstermesini desteklemektedir. Sadece BG2 kodlu örnek bazlara karşı dayanımı BG, BG4 ve BG6 numuneleri numunelerine göre daha düşüktür.

**Tablo 4.** Elde edilen cam-seramik örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri

Örnek	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Eğilme Dayanımı (MPa)	Sertlik Değeri (HV01, kg/ mm <sup>2</sup> )	Kimyasal Dayanım	
				HNO <sub>3</sub> (%)	NaOH (%)
BG	3.026	53	615		
BG2	3.028	111	706		0.11
BG4	3.028	147	730		
BG6	3.030	206	740		

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye’nin güney bölgesinden alınan bazaltik pomzadan elde edilen cam seramikler karakterize edilmiştir. Bazaltik pomzaya farklı oranlarda çekirdeklendirici olarak ilave edilen  $TiO_2$ ’in kristalleşmeyi destekleyebileceği görülmüştür. Hazırlanan cam seramiklerde  $TiO_2$  içeriğinin artmasıyla üç boyutlu ve homojen kristal büyümeleri gözlenmiştir. En yüksek (%6)  $TiO_2$  içeriğine sahip hazırlanan cam seramik, 740 kg/mm<sup>2</sup> sertlik, 3.03 g/cm<sup>3</sup> yoğunluk değeri ve 206 MPa eğilme dayanımı göstermiştir.

#### TEŞEKKÜR

Bu çalışma Çukurova Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir. (Proje No: MMF2008D5).

## KAYNAKÇA

- Casasola, R., Ricon, J.M., Romero, M. (2012). Glass-ceramic glazes for ceramic tiles are view. *Journal material science* 47, 553-582.
- Erol, M.M., Küçükbayrak, S., Meriçboyu, A.E. (2006). The recycling of the coal fly ash in glass production. *Journal of environmental science and health Part A*, 41, 1921-1929.
- Gill, R., *Igneous Rock and Process*, 1st edition, UK, 2010.
- Holand, W., Beall, G.H. (2012). *Glass-ceramic technology*. 2, USA, 206.
- Höland, W., Rheinberger, V. (2004). Control of nucleation in glass ceramics, *The royal society*, 361(1804), 575-589.
- Karamanov, A., Taglieri, G., Pelino M. (1999). Iron-rich sintered glass-ceramics from industrial wastes. *Journal of the American Ceramic Society*, 82(11), 3012-3016.
- Karamanov, A., Pelino, M. (2001). Crystallization phenomena in iron-rich glasses. *Journal non-crystalline solids*, 281, 139-151.
- Khater, G.A., Abdel-Motelib, A., El Manawi, A.W., Abu Safiah, M.O. (2012). Glass ceramics materials from basaltic rock and industrial waste. *Journal non-crystalline solids*, 358, 1128-1134.
- Lima, L.F., Perattoni, C.A., Zorzi, J.E.(2021). Effect of iron on the microstructure of basalt glass-ceramics obtained by the petrugic method. *International journal of applied ceramic technology*, 18(6), 1950-1959.
- Mukherjee, D.B., Das, s.K. (2014). The Influence of TiO<sub>2</sub> content on the properties of glass ceramics: crystallization, microstructure and hardness. *Ceramics international*, 40(3), 4127-4134.
- Nagarajan, V.S., Jahanmir, S. (1996). The relationship between microstructure and wear of mica-containing glass-ceramics. *Wear*, 200(1), 176-185.
- Shahsavari, P., Yekta, E.B., Marghussian, V.K. (2020). High strength pyroxene-based glass-ceramic foams in the presence of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. *Iranian journal of materials science & engineering*, 17(3), 1-10.
- Torres, F.J., Alarcon, J. (2004). Mechanism of crystallization of pyroxene-based glass ceramic glazes. *Journal of non-crystalline solids*, 347(1), 45-51.
- Yılmaz, Ş., Özkan, O.T., Günay, G. (1996). Crystallization kinetics of basalt glass. *Ceramics international*, 22, 477-481.
- Zanotto, E.D., Mauro, J.C. (2017). The glassy state of matter its definition and ultimate fate. *Journal non-crystalline solids*, 471, 490-495.



# BÖLÜM 13

## **SERT METAL MALZEMELERİN TORNALAMA İŞLEMLERİNDE KESME PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ**

*Hasan ÖKTEM<sup>1</sup>*



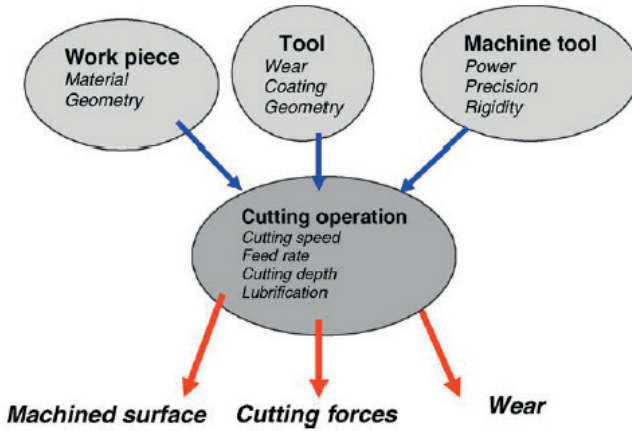
<sup>1</sup> Prof. Dr. Hasan ÖKTEM

Kocaeli Üniversitesi-Hereke Asım Kocabıyık MYO/Makine ve Metal Teknolojisi

ORCID: 0000-0003-2526-8364

## 1. GİRİŞ

Sert metal malzemeler, yüksek aşınma direnci, yüksek sertlik, iyi korozyon dayanımı, düşük ısıl iletkenlik ve yorulma özelliklerinden dolayı, çok kritik parçaların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu malzemelerin talaşlı imalat yöntemleri ile şekillendirilmesi karmaşık ve zor bir süreçtir. Şekil 1, metal kesme işleminin giriş parametrelerini (iş parçası, takım ve makine), kesme operasyonunu (kesme hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği ve yağlayıcı) ve çıkış parametrelerini (işlenmiş yüzey, kesme kuvvetleri ve aşınma) göstermektedir (Remadna vd., 2006).



Şekil 1. Metal kesme işleminin karakteristikleri (Remadna vd., 2006)

Özellikle, sert metal malzemelerin aşınma dirençli takımlarla tornalama işlemi, literatür ve endüstride önemli bir yer tutmaktadır. Bundan dolayı, birçok araştırmacı bu alanda kapsamlı çalışmalar gerçekleştirmiştir. Bu çalışmalarda araştırmacılar, sert malzemelerin tornalaması, işlem parametreleri, yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri, aşınma, takım ömrü, ısı, talaş biçimi ve işleme zamanı gibi karakteristikleri inceleyerek metal kesme performansını değerlendirmiştir.

Sert tornalama işlemi, 100Cr6 çeliğinden imal edilmiş rulman parçaları imalatı için ekonomik bir alternatif olmayı sürdürmektedir. Bu deneysel araştırma, 100Cr6 temperlenmiş çeliğin sert tornalama işleminde CBN (Kübik Bor Nitrür-Cubic Boron Nitride) takım ile kesme yaparak sürekli aşınma, yüzey pürüzlülüğü, talaş tipi ve işleme zamanı gibi karakteristikleri incelemiştir. Araştırma sonunda, CBN takımının aşırı bir kırılma eğilimi olmasına rağmen iyi bir aşınma direnci sergilediği gözlenmiştir. 60 RC sertlikte 100Cr6 malzemenin işlenmesi sırasında oluşan ısının büyük bir kısmı esas olarak talaş ile atılmıştır. En uygun işlenmiş talaş verimliliği, aşınma oranı ( $V_B=0.4$



mm altında) kabul edilebilir bir takım için 120 m/dak kesme hızında elde edilmiştir. Yüzey kalitesinde artış olmasına rağmen taşlamayla karşılaştırıldığında CBN takımıyla 2.5 kat ilerleme sağlanmıştır (Yallese vd., 2009). AISI D3 soğuk iş takım çeliğinin (60 RC sertlikte) sert tornalama işlemi sırasında CBN takım davranışı üzerinde uzun süreli aşınma testleri yapılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün, kesme kuvvetlerinin ve sıcaklığın gelişimi kesme parametrelerine ve takım aşınmasına göre incelenmiştir. Deney sonuçları, CBN kesici uçların aşınmaya dirençli olduğunu göstermiştir. İlerleme hızının, yüzey pürüzlülüğü üzerinde belirleyici rol oynadığı ifade edilmiştir (Bouchelaghem vd., 2010). Bu çalışmada, alaşımlı bir çelik (sertlik 52 RC) malzemenin CBN takımlar ile tornalama işlemi sırasında meydana gelen aşınma, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri incelenmiştir. Araştırma sonunda, yan kenar aşınması ve kesme mesafesinin artması ile kesme kuvvetlerinin dereceli arttığı ifade edilmiştir. Ayrıca, yan kenar aşınmasının artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı belirtilmiştir (Remadna vd., 2006).

Diğer bir grup araştırmacı da benzer olarak, ısıl işlem görmüş sıcak iş takım çeliğini seramik kesiciler ile tornalama işlemine tabi tutarak, kesme kuvvetleri, aşınma ve yüzey pürüzlülüğünün etkisini incelemişlerdir. Kesme kuvvetlerinin, Fr, Fv ve Fa değerlerini gerçek ortamda Dinamometre ile ölçmüşlerdir (Fnides vd., 2008). Çalışmadan, teğetsel kesme kuvvetinin, kesme derinliğine karşı ve pürüzlülüğünün ise ilerleme hızını önemli ölçüde etki etkilediği görülmüştür. Ayrıca, yan kenar aşınmasının kesme kuvveti ve pürüzlülük üzerinde önemli rol oynadığı da belirtilmiştir (Fnides vd., 2008). Bu çalışma, AISI H13 çeliği üzerinde kesici takım geometrisinin etkilerini, iş parçasının sertliği, ilerleme ve kesme hızını sert tornalamada işlemde pürüzlülük ve kuvvetler açısından incelemişlerdir. Sert tornalama deneyleri sırasında, kesme kuvvetleri ve işlenmiş yüzeylerin pürüzlülüğü ölçülmüştür. Özellikle bilenmiş kenar geometrisi ve daha düşük iş parçası yüzey sertliği ve daha iyi yüzey pürüzlülüğü sağlamıştır. Yüzey sertliği az ve düzgün kenar geometrisi, daha düşük teğetsel ve radyal kuvvetler üretir (Ozel vd., 2005).

Bazı araştırmacılar, takım ilerlemesi, kesme hızı ve paso gibi işlem şartlarını, farklı malzemelerde kullanarak sert tornalama işlemi yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında, tungsten karbür uçlar, yüksek hız çelik takımlar (karbon nanotüp kaplama, kimyasal yöntemle kaplamalı), CBN ve PCBN (Poli Kristal Bor Nitrür-Poly Cubic Boron Nitride) takımlar kullanmışlardır. İşlem şartlarının pürüzlülük, kesme kuvveti, aşınma, takım ömrü ve talaş tipi üzerindeki etkisini değerlendirmişlerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde en etkili parametrenin takım ilerleme hızı olduğunu, kesme hızının çok fazla etkisinin olmadığını (Rodrigues vd., 2012), kesme ve ilerleme hızının pürüzlülük ve takım ömrü üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu, buna karşın; paso miktarının ise kesme kuvvetlerinde önemli olduğu (Khamel, vd., 2012), kesici türlerinin aşınma ve takım ömrü üzerinde önemli gösterge ol-

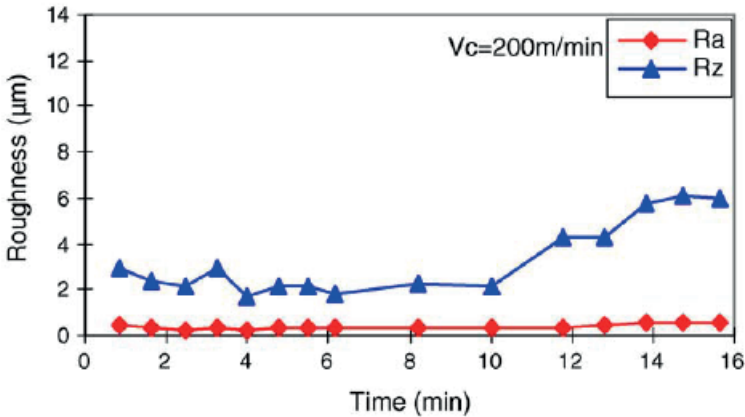
duğunu (Zhou vd., 2008), karbon nanotüp yöntemiyle kaplanan yüksek hız takım çeliklerinin, kimyasal kaplamalı takımlara göre daha iyi bir performans sergilediği (Chenrayan vd., 2021) ve kesici takımlara kriyojenik işlem uygulandığında klasik takımlara göre çok daha fazla avantaj sağladığı ifade edilmiştir (Gill vd., 2011).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda, kesme performansını etkileyen karakteristiklerin, istatistiksel ve optimizasyon yaklaşımları ile birleştirilmesi sonucunda yeni çalışmalar ortaya çıkmıştır. Özellikle, pürüzlülük, aşınma, kuvvet gibi deneysel verilerden faydalanılarak Taguchi metoduyla optimum kesme parametrelerinin bulunması üzerine odaklanılmıştır (Kumar vd.,2023), (Balwan, vd., 2023), (Lokireddi vd., 2022). Nikel esaslı süper alaşımlar, düşük özgül ağırlık, aşınma dirençli olma, korozyon dayanımı ve ısıl yorulmaya dayanıklı gibi özelliklerinden dolayı, uzay ve uçak sanayisinde önemli ölçüde kullanılmaktadır. Ancak, bu malzemenin işlenebilirliği zor, karmaşık ve daima araştırmacıların ilgisini çekmiştir. Bazı araştırmacılar, pürüzlülük, aşınma ve kesme kuvvetlerinin açısından işleme performansını değerlendirmişlerdir (Sharman vd., 2004), (Zhou vd., 2023), (Costes vd., 2007).

## 2. SONUÇLAR ve TARTIŞMALAR

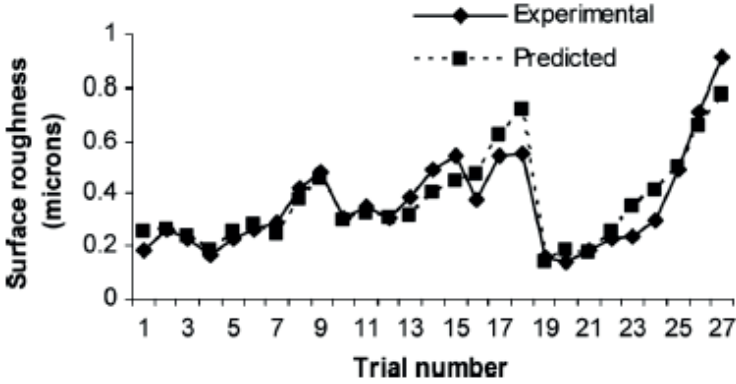
### 2.1. Yüzey pürüzlülüğü

Bu bölümde, yüzey pürüzlülüğü üzerine yapılmış en kapsamlı çalışmalardan elde edilen sonuçların tartışılması yer almıştır. Şekil 2,  $V_c=200$  m/dak kesme hızında, yüzey pürüzlülüğünün zamana karşı değişimini,  $R_a$  ve  $R_z$  parametresi cinsinden göstermektedir. Şekil 2 incelendiğinde,  $R_z$  parametresinin değeri kısmen artarken,  $R_a$  parametresinin değeri sabit olarak devam etmiştir (Remadna vd., 2006).

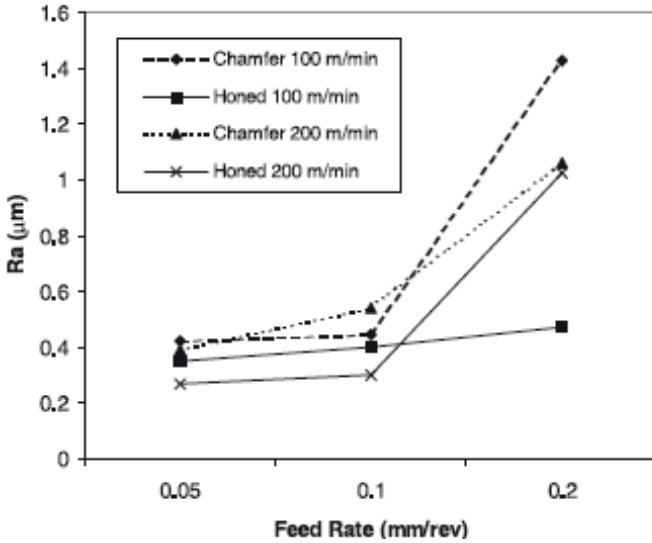


Şekil 2. 200 m/dak kesme hızında pürüzlülüğün (Roughness,  $R_a$  ve  $R_z$ ) zamana karşı değişimi (Remadna vd., 2006).

Şekil 3, deneysel ile tahmini pürüzlülük değerlerinin deney sayısına göre değişimini göstermektedir. En büyük pürüzlülük değeri ile en küçük, 0.2  $\mu\text{m}$  ile 0.8  $\mu\text{m}$  arasında değişmiştir (Gaitonde vd., 2009). Şekil 4 ise dört farklı kesme hızında, pürüzlülük değerlerinin ilerleme hızı (Feed Rate, m/dak) ile değişimini göstermektedir. İlerleme hızının artması ile pürüzlülüğün önce azaldığı, sonra da arttığı görülmektedir (Ozel vd., 2005).



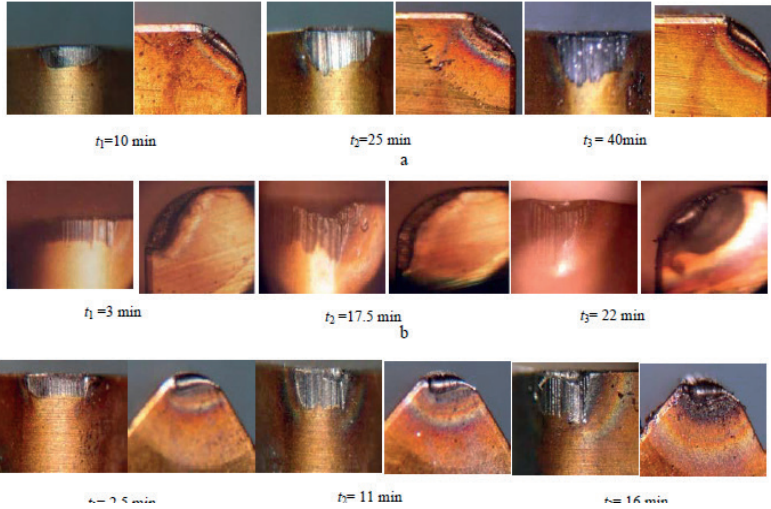
Şekil 3. Yüzey pürüzlülük değerlerinin deneylere göre değişimi (roughness,  $\mu\text{m}$ ) (Gaitonde vd., 2009)



Şekil 4. Yüzey pürüzlülüğünün ( $R_a$ - $\mu\text{m}$ ) ile ilerleme hızının değişimi (Ozel vd., 2005)

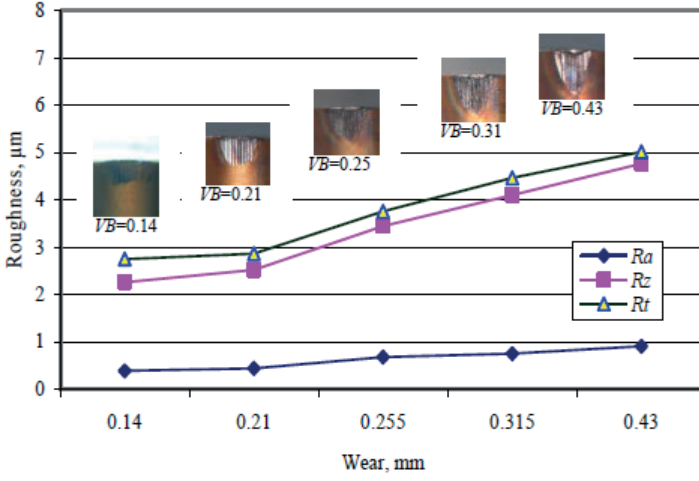
## 2.2. Takım aşınması

Farklı çelik malzemeler ve kesici takımlar ile ilerleme, kesme hızı ve kesme derinliği gibi parametreler ile yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen takım aşınmaları bu bölümde incelenmiştir. Ayrıca, aşınma oranlarına karşılık kesici takım tiplerine göre oluşan aşınmaların performansı değerlendirilmiştir. Kesici takımlarda meydana gelen aşınma türleri yan kenar aşınması, çentik aşınması, burun aşınması ve krater aşınması olarak tanımlanabilir. Şekil 5, farklı sürelerde ( $t_1=10$  dakika,  $t_2=25$  dakika ve  $t_3=40$  dakika) burada bahsedilen aşınma tiplerini göstermektedir (Bouchelaghem vd.,2007) .



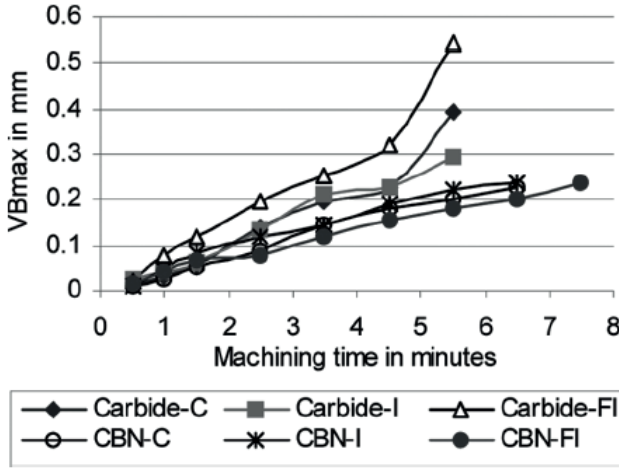
Şekil 5. Aşınma tipleri (Bouchelaghem vd., 2007)

Şekil 6, yüzey pürüzlülüğüne karşı aşınmanın değişimini göstermektedir. Şekil 6'daki grafik incelendiğinde, her üç pürüzlülük parametresinin ( $R_a$ ,  $R_z$  ve  $R_t$ ), aşınmanın artması ile doğru orantılı arttığı görülebilir. Ayrıca, ölçümler boyunca en düşük pürüzlülük değeri,  $R_a$  parametresi ile elde edilmiştir (Yallese vd., 2009).



Şekil 6. Yüzey pürüzlülüğünün kenar aşınmasına göre değişimi (Yallese vd., 2009).

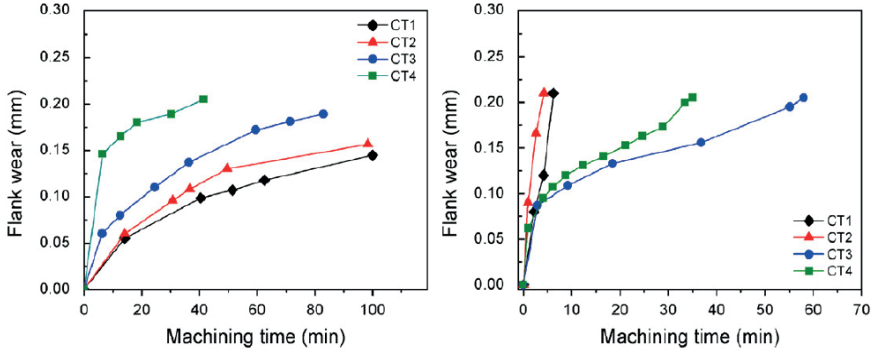
Şekil 7, karbür kesiciler ile CBN kesiciler kullanılarak farklı tip yüzeylerin tornalanması sırasında, kesicilerden oluşan  $VB_{\max}$  aşınmasının zamana karşı değişimini göstermektedir. Burada, en iyi aşınma performansını, CBN takımlar sergilerken; en zayıf aşınma performansını ise karbür kesiciler göstermiştir. (Dogra, vd.,2012).



Şekil 7. Aşınmanın ( $VB_{\max}$ ) işleme zamanına karşı değişimi (Dogra, vd., 2012)

Şekil 8, iki farklı kesme hızlarında (20 m/dak ve 100 m/dak) dört farklı tip CBN takıma yapılan kaplamaların, tornalama işlemi sonrasında, takımlarda meydana gelen yan kenar aşınmasının işleme zamanına karşı değişimini göstermektedir. 20 m/dak'lık kesme hızında en iyi aşınma performansını

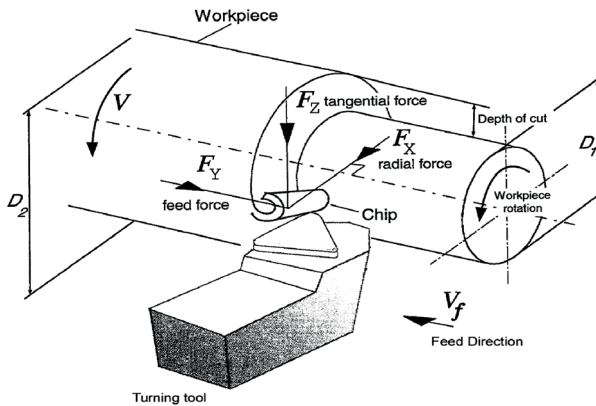
CT1 (CBN-60%+40 %TiN ) takımı ve en düşük kesme performansını CT4 (karbür takıma üç katlı TiC/TiCN/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplama) takımı sergilemiştir (El Hakim, vd., 2011).



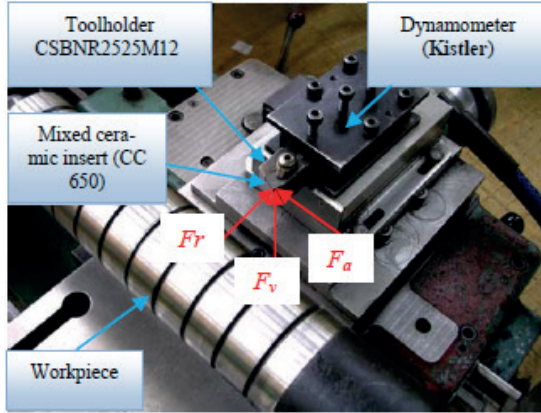
Şekil 8. Aşınmanın (wear, mm) zamana bağlı olarak iki farklı kesme zamanına göre değişimi (cutting time) (El Hakim, vd., 2011)

### 2.3. Kesme kuvvetleri

Şekil 9'da gösterilen tornalama işleminde kesici takım (turning tool) ile iş parçası arasında, takımı iş parçasından (workpiece) ayıran kesme kuvveti ( $F_x$ , radial force), iş parçasından talaşı (chip) koparan teğetsel kuvveti ( $F_z$ , tangential force) ve iş parçasında doğru ilerleyen takım yönündeki ilerleme kuvvetleri ( $F_y$ , feed force) vardır (Ozel vd., 2005). Şekil 10 ise bir torna işlemi esnasında dinamometrenin bağlanması ile yapılan deneyde, kesme kuvvetlerini ( $F_a$ ,  $F_v$  ve  $F_r$ ), üç temel bileşenini ve yönlerini göstermektedir (Fnides vd., 2008).

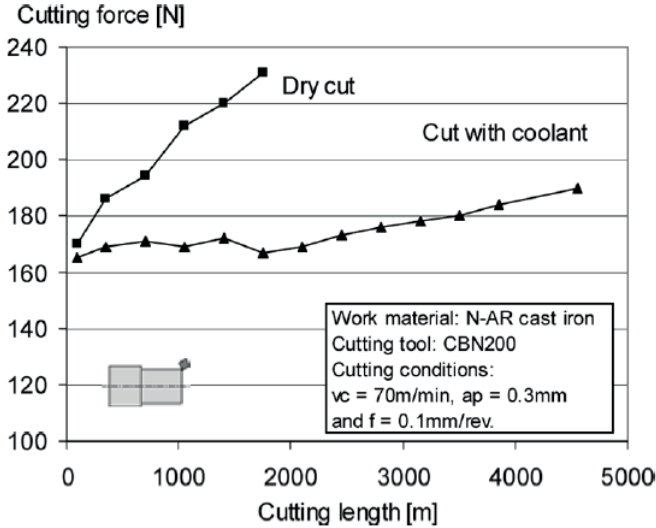


Şekil 9. Tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin gösterilmesi (workpiece-iş parçası) (Ozel vd., 2005)



Şekil 10. Tornalama işleminde kesme kuvvetlerinin dinamometre ile ölçümü (workpiece-iş parçası) (Fnides vd., 2008)

Şekil 11, 70 m/dak kesme hızı, 0.1 mm/dev ilerleme ve 0.3 kesme derinliğinde, CBN takımlar ile dökme demir malzemenin tornalama deneyi sonucunda oluşan kesme kuvvetinin kesme uzunluğuna karşı değişimini göstermektedir. Şekil 11'deki grafik incelendiğinde, kesme kuvveti değerlerinin, kuru kesmede, sulu kesmeye göre daha fazla arttığı görülmektedir (Zhou vd., 2007).

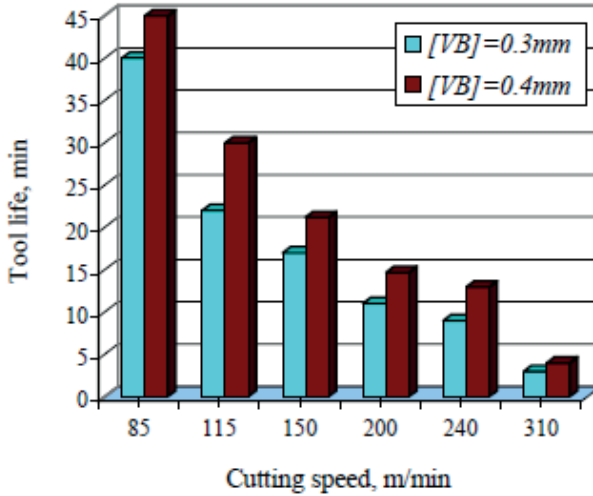


Şekil 11. Kesme kuvvetinin (cutting force, N) aşınmaya karşı değişimi (Zhou vd., 2007)

## 2.4. Takım ömrü

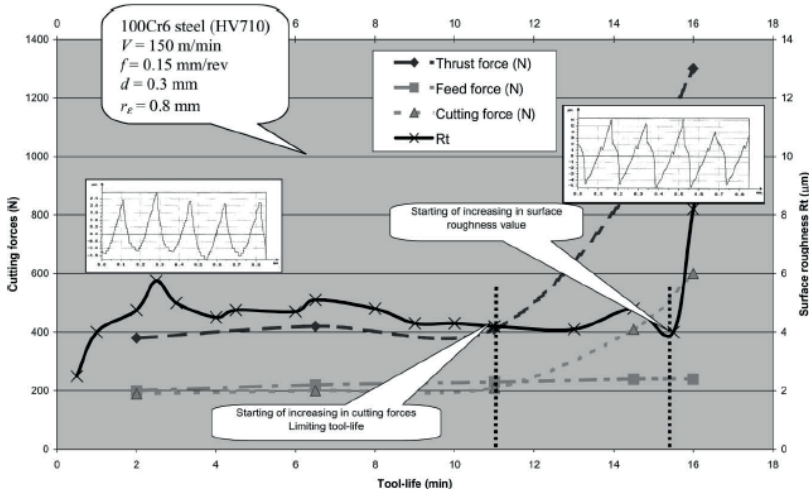
Takım ömrü, kesici takımların, kesme kabiliyetini kaybetmesine kadar takım geometrisinde kuvvet, sürtünme, ısı ve talaş oluşumu etkisiyle malzeme kaybı meydana gelinceye kadar geçen süre olarak tanımlanır. Şekil 12,  $V_B=0.3$  mm ve  $V_B=0.4$  mm aşınma oranlarında kesme hızına bağlı olarak takım ömürlerini (dakika) göstermektedir. Kesme hızı arttıkça takım ömrünün de arttığı gözlemlenebilir (Bouchelaghem, 2007).

Şekil 13, 100Cr6 çelik malzeme üzerinde yapılan deneyler sonrası kesme kuvveti, pürüzlülük ve aşınma oranının birbiriyle ilişkisini göstermektedir. Şekil 13 incelendiğinde, her üç performans karakteristiğinin de birbiriyle doğru orantılı olarak arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, pürüzlülük değerinin artması ile kuvvet ve aşınmanın da hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir (Poulachon vd., 2001).



Şekil 12. Kesme hızına (cutting speed, m/dak) karşılık takım ömrünün değişimi (tool life, dak) (Bouchelaghem, 2007)





Şekil 13. Takım ömrü (tool life, dak), kesme kuvveti ve pürüzlülüğün birbiriyle ilişkisi (Poulachon vd., 2001)

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, sert malzemeler üzerine tornalama işlemi ile yapılan tüm çalışmalar incelenerek, elde edilen tüm sonuçlara ait genel değerlendirmeler aşağıda gibi ifade edilmiştir:

- Sert malzemelerin işlenmesinde, tornalama işlemlerinin efektif olduğu görülmüştür. Üç önemli kesme şartının, ilerleme ( $f$ ), kesme hızı ( $V_c$ ) ve paso miktarı ( $ap$ ) olduğu kanaatinde varılabilir.
- Yüzey pürüzlülüğü, ilerleme hızı ile artarken, kesme hızı ile düşme eğilimindedir.
- Bir malzemenin yüzey kalitesi bozulmasının ana nedenlerinden biri, takım yan kenar aşınma değerinin standartların ( $VB_{max}=0.2$  mm) üzerinde çıkmış olmasıdır.
- Kesme kuvveti, aşınma ve pürüzlülük karakteristiklerinin birbiriyle doğru orantılı olarak değiştiği gözlemlenmiştir.
- CBN kesici takımlarının sert tornalama işlemlerinde, seramik ve kaplamalı takımlara göre çok daha iyi performans sergilemiş olduğu söylenebilir.
- Kesme hızının artması ile takım ömrünün hızlıca azaldığı, kesme kuvvetlerinin de arttığı söylenebilir.
- Nikel esaslı malzemelerin sert tornalama ile işlenmesinde, en belirleyici unsurlar, kesici tipi ve işlem parametreleridir.

- Takım aşınmasında, en etkili ve dikkate alınması gereken aşınma türü, yan kenar aşınmasıdır (flank wear).
- Kesme kuvvetinin, iş parçasını takımdan ayıran kesme kuvveti, iş parçasından talaşı koparan teğetsel kuvvet ve iş parçasında doğru ilerleyen takım yönündeki ilerleme kuvvetlerinin bileşkesi, (Fz), esas talaş kaldırmayı gerçekleştiren kuvvettir.
- Sonuç olarak, işlenmesi zor malzemelerin sert tornalama işlemleriyle şekillendirilmesinde, pürüzlülük, takım aşınma, kesme kuvveti, kesme uzunluğu ve ısı önemli rol oynar.

## KAYNAKÇA

- Balwan, V.R., Dabade, B.M., Kabnure B.B. (2023). Optimization of surface finish and material removal rate while turning hardened EN 353 steel using GRA, *Journal of Manufacturing Processes*, 99, 230-242.
- Bouchelaghem, H., Yallese, M.A., Mabrouki, T., Amirat, A., Rigal J.F. (2010). Experimental Investigation and Performance Analyses of CBN Insert in Hard Turning of Cold Work Tool Steel (D3), *Machining Science and Technology*, 14, 471-501. doi:10.1080/10910344.2010.533621.
- Bouchelaghem, H., Yallese, M.A., Amirat, A., (2007). Wear behaviour of CBN tool when turning hardened AISI D3 steel, *Mechanica*, 3 (65), 471-501.
- Chenrayan, V., Manivannan, C., Velappan, S., Shahapurkar, K., Soudagar, E.M., Khan, T.M.Y., Elfasakhany, A., Kumar, R., Pruncu, C.I. (2021). Experimental assessment on machinability performance of CNT and DLC coated HSS tools for hard turning, *Diamond & Related Materials*, 119, 108568. doi: 10.1016/j.diamond.2021.108568.
- Costes, J.P., Guillet, Y., Poulachon, G., Dessoly, M. (2007). Tool-life and wear mechanisms of CBN tools in machining of Inconel 718. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 47, 1081-1087. doi: 10.1016/j.ijmactools.2006.09.031.
- Dogra, M., Sharma, S. V. Sachdeva, A., Suri, N.M. (2012). Finish Hard Turning of Continuous and Interrupted Surfaces with Cubic Boron Nitride (CBN) and Coated Carbide Tools, *Materials and Manufacturing Processes*, 27, 523-530. doi: 10.1080/10426914.2011.593238.
- El Hakim, M.A., Abad, M.D., Abdelhameed, M.M., Shalaby, M.A., Veldhuis, S.C. (2011). Wear behavior of some cutting tool materials in hard turning of HSS, *Tribology International*, 44, 1174-1181. doi:10.1016/j.triboint.2011.05.018.
- Fnides, B., Aouici, H., Yallese M.A. (2008). Cutting forces and surface roughness in hard turning of hot work steel X38CrMoV5-1 using mixed ceramic, Issn:1392-1207. *Mechanika*, 2 (70).
- Gaitonde, V.N., Karnik S.R., Figueira, L., Davim, P.J.(2009). Analysis of Machinability During Hard Turning of Cold Work Tool Steel (Type: AISI D2), *Materials and Manufacturing Processes*, 24: 1373-1382,. doi:10.1080/10426910902997415.
- Gill, S.S., Singh, H., Singh, R., Singh, J. (2011). Flank Wear and Machining Performance of Cryogenically Treated Tungsten Carbide Inserts, *Materials and Manufacturing Processes*, 26, 1430-1441. doi: 10.1080/10426914.2011.557128.
- Khamel, S., Ouelaa, N., Bouacha, K. (2012). Analysis and prediction of tool wear, surface roughness and cutting forces in hard turning with CBN tool, *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26, 11, 3605-3616.doi:10.1007/s12206-012-0853-1.
- Kumar, S., Tamilselvan, P., Feroskhan M., Doss, A.S.A., Sasikumar, M., Elango, M., Sivarajan, S. (2023). Hard turning of AISI D2 steel with cubic boron nitride

- cutting inserts, *Materials Today: Proceedings*, 72, 2002-2006. doi: 10.1016/j.matpr.2022.07.338.
- Lokireddi, V.V.G.R., Satyanarayana, V.S.V., Sarat, C., S.P., Vijay, S., (2022). Performance analysis of uncoated tools for machining of hard to cut materials, *Materials Today: Proceedings*, 60, 902-906. doi: 10.1016/j.matpr.2021.10.033.
- Ozel, T., Hsu, T.K., Zeren, E. (2005). Effects of cutting edge geometry, workpiece hardness, feed rate and cutting speed on surface roughness and forces in finish turning of hardened AISI H13 steel, *Int Journal Advanced Manufacturing Technology*, 25, 262-269. doi: 10.1007/s00170-003-1878-5.
- Poulachon, G., Moisan, A. Jawahir, I.S., (2001). Tool-wear mechanisms in hard turning with polycrystalline cubic boron nitride tools, *Wear*, 250, 576-586, S0043-1648(01)00609-3.
- Remadna, M., Rigal, J.F. (2006). Evolution during time of tool wear and cutting forces in the case of hard turning with CBN inserts, *Journal of Materials Processing Technology*, 178, 67-75. doi:10.1016/j.jmatprotec.2005.03.038.
- Rodrigues, L.L.R., Kantharaj, A.N., Kantharaj, B., Freitas, W. R.C. Murthy, B.R.N. (2012). Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness and Cutting Force in Turning Mild Steel, *Research Journal of Recent Sciences*, 1, 10, 19-26.
- Sharman, A.R.C., Hughes, J.I., Ridgway, K. (2004). Workpiece Surface Integrity and Tool Life Issues When Turning Inconel 718 Nickel Based Superalloy, *Machining science and Technology*, 8, (3), 399-414. doi:10.1081/MST-200039865.
- Yallese, M.A., Chaoui, K., Zeghib, N., Boulanouar, L., Rigal, J.F. (2009). Hard machining of hardened bearing steel using cubic boron nitride tool, *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1092-1104 doi:10.1016/j.jmatprotec.2008.03.014.
- Zhou, J.M., Andersson, M. (2007). Effects of Lubricant Condition and Tool Wear in Hard Turning of Novel-Abrasion-Resistance (N-AR) Cast Iron, *Materials and Manufacturing Processes*, 22, 865-870. doi: 10.1080/10426910701448925.
- Zhou, J.M., Andersson, M. (2008). Machinability of Abrasion Resistance Cast Iron with PCBN Cutting Tools, *Materials and Manufacturing Processes*, 23, 506-512. doi:10.1080/10426910802104252.
- Zhou, Y., Wang, S., Chen, H., Zou, J. Ma, L., Yin, G., (2023). Study on surface quality and subsurface damage mechanism of nickel-based single-crystal superalloy in precision turning, *Journal of Manufacturing Processes*, 99, 230-242. 10.1016/j.jmapro.2023.05.053.

# BÖLÜM 14

## **OTOMOTİV SEKTÖRÜNDEKİ ARAÇ HAFİFLETME ÇALIŞMALARI VE ÇEVRESEL ETKİLERİ**

*Nihan ŞUMNULU<sup>1</sup>  
Güray SALİHOĞLU<sup>2</sup>*



---

<sup>1</sup> Çevre Mühendisi Nihan Şumnulu,  
<sup>2</sup> Prof. Dr. Güray Salihoglu  
Uludağ Üniversitesi, 0000-0003-2559-1997

## 1- Giriş

Hayatımızın vazgeçilmez bir parçası olan otomobil, tarih sahnesine 19. Yüzyıl itibariyle, sanayi devrimine yön veren buharın ve içten yanmalı motorlarda petrol kullanımıyla çıkmıştır. Geçmişten günümüze birçok değişime uğrayan otomotiv sektörü büyüklüğü ve etkilediği alan açısından dünyanın en önemli sanayi alanlarından biridir. Otomotiv sektörü, hem insanların ulaşım ihtiyaçlarını karşılayan ürünler üretmekte, hem de toplumsal ve teknolojik gelişmelerde kilit roller üstlenmektedir. Bu nedenle otomotiv, insanın artan nüfusu ve zamana bağlı değişen ihtiyaçlarında sürdürülebilir çözümler bulması gereken sektörlerin başında gelmektedir.

Sürdürülebilirlik kavramı, Stockholm’de yapılan “İnsan Çevre Konferansı” ile 1972 yılında ilk defa kullanılmıştır (Yeni, 2014). 1987 yılında ise Birleşmiş Milletler’in Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu ile 1987 yılında yayınladığı Ortak Geleceğimiz (Brundtland Raporu) Raporu ile ‘Bugünün gereksinimlerini, gelecek kuşakların gereksinimlerini karşılama yeteneğinden ödün vermeden karşılayan kalkınma’ olarak tanımlanmıştır (Yeni, 2014). 1992 yılında Brezilya’da yapılan Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda ise sürdürülebilirliğin; çevresel, ekonomik ve toplumsal boyutları içeren üç temel bileşen üzerine kurulması gerektiği ele alınmıştır. 2007 yılında Birleşmiş Milletler’in Devletlerarası İklimsel Değişimler Paneli (IPCC) kapsamında yaptıkları çalışmalara göre, artık geri dönüşü olmayan noktaya geldiği ve iklim değişikliğine en büyük katkının karbondioksit gaz salınımlarından kaynaklandığını ortaya koymuştur (IPCC, 2007). Yine bu rapora göre bu gaz salınımindaki artışın neredeyse tamamının insan faaliyetlerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Sera gazı denildiğinde akla gelen ilk emisyon CO<sub>2</sub>, tüm sera gazlarının %80’ini oluşturmaktadır (Oral ve Uğuz, 2020) CO<sub>2</sub> emisyonları, enerji üretimi, konut, sanayi ve ulaşım sektörlerinde fosil yakıtların yakılması olmak üzere çeşitli kaynaklardan oluşur (Demirtürk D., 2021).

Tablo 1’de görüldüğü gibi, otomotiv sektörüne girdi sağlayan birçok proses CO<sub>2</sub> emisyonlarının artışına katkı sağlamaktadır. Otomobil üretim prosesleri yanı sıra, yan sanayi üretim prosesleri, otomobilin bir ürün olarak satışı ile yakıt kaynaklı kirletici olması, sürdürülebilir büyüme için büyük bir çalışma alanı yaratmaktadır.

Tablo 1

*Yılda 0,1 Milyon Ton'dan fazla CO<sub>2</sub> yayan dünya çapındaki büyük sabit CO<sub>2</sub> kaynaklarının profili (IPCC, 2015)*

Proses	Emisyon (MtCO <sub>2</sub> )
<i>Fosil yakıtlar</i>	
Enerji Santralleri	10.539
Çimento üretimi	932
Rafineriler	798
Demir ve çelik üretimi	646
Petrokimyasal endüstriler	379
Petrol ve gaz üretimi	50
Diğer kaynaklar	33
<i>Biyokütle</i>	
Biyoetanol ve biyoenerji	91
<b>Toplam</b>	<b>13.468</b>

Mevcut yakıtların ekonomik ve doğal kaynak kullanımını nedeniyle ekonomik hale getirilme çabası ve sera gazı emisyonlarının azaltılması gerekliliği, otomobil üreticilerinin hafif otomobiller üretmeye mecbur hale getirmiştir (Zhang ve Xu, 2022).

Bu çalışmada, dünyanın en önemli sanayi sektörlerinden otomotiv sektörünün, dünyanın en önemli sorunlarından iklim değişikliğine olan etkisi, araç hafifletme çalışmaları kapsamında araştırılmıştır. Çeyrek asırı aşan sürede yapılan çalışmalar araştırılmış olup, dünyada ve ülkemizde yapılan çalışmalar, çevresel etkileri ile birlikte değerlendirilmiştir.

## 2- Araç Hafifletme Kavramı

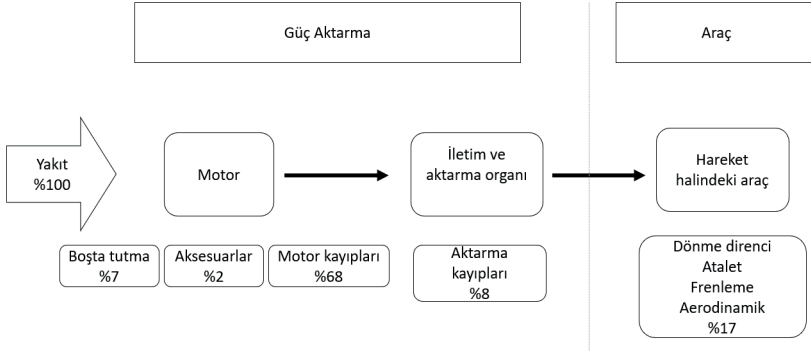
Tipik bir binek araç yılda yaklaşık 4,6 metrik ton CO<sub>2</sub> yaymaktadır ve 1 litre benzin kullanımı ile yaklaşık 2,35 gram CO<sub>2</sub> oluşur (EPA).

Küresel düzeyde araç sahipliği zamanla artmaktadır. Otomotiv sektörü 1950'de 13,5 milyon adet üretim yapmaktayken gezegende 60 milyondan daha az araç mevcuttu. Günümüzde ise üretim adedi 80 milyon adede yaklaşırken, kullanımda olan 800 milyonun üzerinde araç mevcuttur (Taub ve Luo, 2015). Küresel çapta kullanılan araçlardaki büyüme, güvenlik, trafik, yakıt emisyonları ve petrol tüketimi, sürdürülebilirlik zorluklarını ortaya çıkarmıştır. Yakıt ekonomisi endişesi ilk kez Petrol İhraç Eden Ülkeler Örgütü'nün 1973 ve 1979'daki petrol krizlerinin petrol ve benzin fiyatlarını keskin bir şekilde yükseltmesiyle ortaya çıkmıştır (Yılmaz, 2012). Petrol fiyatlarındaki değişiklik, fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarıyla ilgili endişelerle birleştiğinde, yakıt ekonomisini ulaştırma sektörünün karşı karşıya olduğu en büyük zorluklardan biri haline getirmiştir.

İçten yanmalı motorun geliştirilmesindeki ilerlemeye rağmen, çalışan bir araçtaki en büyük enerji kaybı, motordaki yanma sürecinden kaynaklanmaktadır. Isıl verimlilikteki referans performans, benzinli motorlar için %30'un, dizeller için ise %40'ın üzerindedir ve yaklaşımlar ilave %5'i elde edecek şekilde tanımlanır (Taub ve Luo, 2015). Kısmen elektrikli hibrit ve elektrikli araçların kullanıma sunulmasıyla verimlilikte bu seviyenin ötesinde iyileştirmeler elde edilmiştir. Araç verimliliğini artırmak ve yakıt ekonomisini iyileştirmek için en önemli yollardan biri araç kütlesini azaltmaktır. Ortalama bir sedan tipli araç 1450 kg ağırlığındadır ve yakıt ekonomisinde %6'lık bir iyileşme elde etmek için ağırlığın yaklaşık 150 kg yani %10 oranında azaltılması gerekir (Taub ve Luo, 2015).

Şekil1'de dört silindirli motora ve otomatik şanzımana sahip bir sedan tip araçta enerji kayıpları ifade edilmiştir.

Şekil1. Sedan tipli bir aracın enerji kayıpları (Taub ve Luo 2015).



Aracın hafifletilmesi kavramı 1995 yılından beri akademik çalışmalara konu olmuştur. Yapılan ilk çalışmalar, yeni malzemelerin uygun bir maliyetle fayda sağlaması durumunda araç tasarımlarına dahil edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Yeni malzemenin bir ürün mühendisi tarafından belirlenmesinden önce, araç dinamikleri, dayanıklılık (garanti), hasar görülebilirlik, onarım ve çarpışmaya dayanıklılık üzerindeki etkileri bugün de, yapılan ilk çalışmalarda olduğu gibi en önemli darboğazlardandır.

### 3- Araç Hafifletme Uygulamaları

Endüstriyel sektörde kullanılacak olan malzemelerin kolay temin edilebilir, düşük maliyetli, çevreci olması beklenmektedir. Otomotiv sektöründe bu beklentilerin yanı sıra güvenli sürüş gerekliliği en önemli ihtiyaçtır. Otomotiv sektöründeki bu beklentiler Tablo 2'de açıklanmıştır.



Tablo 2. Otomotiv Sektöründeki Malzeme Gereklilikleri (Güven ve Rende, 2017)

Gereklilik	Uygulama	Kullanılan Malzemenin Önemi
Çevrenin ve kaynakların korunması	- Tüketiminin azaltılması - Araç ağırlığının azaltılması	- Hafif metallerin kullanımı - Etkinlik/ ağırlık oranı - Düşük sürtünmeli malzeme
	Kirletici gazların azaltılması	- Toksik olmayan malzeme kullanımı - Düşük emisyonlu prosesler
	Geri dönüşüm	- Geri dönüştürülebilir malzeme - Yeniden kullanılabilir malzeme uygulamaları - Yenilenebilir organik malzemelerin kullanımı
Düşük fiyat	Üretim ve geliştirmede maliyetin düşürülmesi	- Düşük fiyatlı malzeme kullanımı - Düşük maliyet üretim süreci

Aracın verimliliğini artırmak, yakıt ekonomisini iyileştirmek, sürdürülebilir üretim ve kullanım için en önemli yollardan birisi araç hafifletme çalışmalarıdır (Zhang ve Xo, 2022, Taub ve Luo 2015). Bunun için yapılan çeşitli uygulamalar, hafif alaşımlar, yüksek mukavemetli çelikler, kompozitler, plastikler ve ileri malzeme gruplarıdır (Zhang ve Xo, 2022, Güven ve Rende, 2017).

### Hafif alaşımlar

Hafif alaşımlar için yapılan çalışmalar uzun bir geçmişe sahiptir. Cole ve Sherman'ın (1995) yaptıkları çalışmada, hafif metallerin, çelik ve dökme demirlerin yerine kullanıldığında ağırlığın azaltılması açısından büyük fırsat sunduğu yer almaktadır. Dönemin otomobil üreticileri ile farklı araç modellerini kıyaslayarak magnezyumun, alüminyumdan %33, çelik/dökme demir bileşenlerden ise %75 daha hafif olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu çalışmaya göre modern, yüksek saflıkta magnezyum alaşımlarının korozyon direnci, geleneksel alüminyum döküm alaşımlarından daha iyidir. Çekme ve akma mukavemeti hemen hemen aynı olmasına rağmen, magnezyum alüminyumdan daha düşük nihai çekme mukavemetine (%25 daha az), %35 daha düşük yorulma mukavemetine ve sü-rünme mukavemetine sahiptir (Cole ve Sherman, 1995). Hafif alaşım grubundaki malzemelerin araç içindeki kullanımları Tablo 3'de özetlenmiştir,

Tablo 3. Otomotiv Sektöründeki Malzeme Gereklilikleri (Zhang ve Xo, 2022)

Hafif alaşımlar	Otomobil bileşeni
Alüminyum	Amortisör, fren, piston, depo, jant, çamurluk, tavan, kapı, tampon, ısı yalıtkanları, tutamaklar, borular, direksiyon bileşeni, biyel kolu, rotor, süspansiyon bileşeni, kaporta, şasi, jant teli, valf, gaz silindiri, koltuk iskeleti
Magnezyum	Motor bloğu, direksiyon simidi çerçevesi, koltuk çerçevesi, gösterge paneli, tekerlek janti, silindir kapağı, debriyaj kutusu, silindir bloğu, şanzıman kutusu, alt karter, emme manifoldu, hava emme sistemi, direksiyon bağlantısı, yağ pompası gövdesi, eksantrik mil, zincir, vites kontrol muhafazası, braketler
Titanyum	Biyel, motor valfi, yaylar, emme valfi, jant çerçevesi, turboşarj, egzoz sistemi, susturucu, gövde çerçeve, motor külbütör kolu, süspansiyon bileşeni, motor piston pimi, bağlantı elemanı, bijon somunu, kapı kirişi, araba durdurma braketleri, fren kaliperi piston, pim civatası, baskı plakası, vites düğmesi, debriyaj, yakıt deposu, yakıt hücresi ayırıcısı

## Yüksek Mukavemetli Çelikler

Maliyet, yüksek performans, işlenebilirlik ve geri dönüştürülebilirlik göz önüne alındığında çelik otomotiv sektöründeki malzeme gruplarında vazgeçilmez olmaya devam etmektedir (Zhang ve Xo, 2022).

Hafif alaşımlar son derece rekabetçi olmasına rağmen, daha geniş uygulamalarının önünde, fiyat, gelişmiş üretim teknolojileriyle uyumsuzluk, işlenebilirliklerindeki zorluklar gibi önemli engeller bulunmaktadır (Zhang ve Xo, 2022). Bu durum çelik piyasasındaki yeniliklerden yüksek mukavemetli çeliklerin gelişimini itici gücü haline getirmektedir (Taub ve Lou 2015). Yumuşak çeliğin, yüksek mukavemetli çelik ile değiştirilmesi, darbe koruması için aynı veya daha yüksek enerji emme kapasitesine sahip ön gövde parçalarının sac derinliğinde önemli bir hafifletme çalışmasıdır (Zhang ve Xo, 2022).

Yüksek mukavemetli çelik kullanılan otomobil komponentleri, araç iskeleti, gövdesi, çarpışma bölgesi, sütunlar, tavan rayı, kapı kirişi, koltuk iskeleti, ön yan elemanlar, tampon, takviye parçalar, külbütör, traversler, koltuk rayıdır (Zhang ve Xo, 2022).

## Plastikler

Parça kütlesinin en aza indirilmesi, yüksek performanslı plastik malzemelerin tercih edilmesinin ana nedeni olmasına rağmen, gelecekte kullanımının artması, otomobillerde konfor, güvenlik ve parça entegrasyonu olasılığı ile ilgili yeni uygulamaların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Gereken performans kriterlerini sağlayan plastik malzemelerin uygulanması, tasarımda sağladığı kolaylıklar, kolay geometrik şekillendirme ve ekonomik çözüme izin vermektedir (Patil, Patel, Prohit, 2017).

Plastik malzeme kullanımı için, daha uzun araç ömrüne olanak tanıyan minimum korozyon, gelişmiş yaratıcılık ve yeniliğe olanak tanıyan önemli tasarım özgürlüğü, bileşenlerin entegrasyonunda esneklik, konfor ve ekonomi, geri dönüştürülebilirlik avantajı olarak görülmektedir (Patil ve diğerleri, 2017). Tablo 4’de tipik bir araçta kullanılan plastik malzemeler yer almaktadır.

Tablo 4. Otomotiv Sektöründeki Plastik Malzeme Kullanımı (Patil ve diğerleri, 2017)

Otomobil Bileşeni	Kullanılan Plastik Tipi
Tamponlar	Polistiren(PS), Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), Polikarbonat (PC)/ Polibütillen Tereftalat (PBT)
Koltuklar	Poliüretan (PUR), Polipropilen (PP), Polivinil Klorür (PVC), Akrilonitril (ABS) Bütadien Stiren, Poliamid (PA)
Gösterge paneli	Polipropilen (PP), Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS), Stiren-maleik asit (SMA), Polifenilen eter (PPE), Polikarbonat (PC)

Yakıt sistemleri	Yüksek Yoğunluklu Polietilen (HDPE), Polioksümetilen (POM), Poliamid (PA), Polipropilen (PP), Polibütülen Tereftalat (PBT)
Gövde	Polipropilen (PP), Polifenilen eter (PPE), Doymamış polyester (UP)
Kaputaltı bileşenler	Poliamid (PA), Polipropilen (PP), Polibütülen Tereftalat (PBT)
Aracın içindeki parçalar (Interior trim)	Polipropilen (PP), Akrilonitril (ABS), Polietilen Tereftalat (PET), Polioksümetilen (POM), Polivinil Klorür (PVC)
Elektrik aksamı parçaları	Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Polibütülen Tereftalat (PBT), Poliamid (PA), Polivinil Klorür (PVC)
Aracın dışındaki parçalar (Exterior trim)	Akrilonitril (ABS), Poliamid (PA), Polibütülen Tereftalat (PBT), Polioksümetilen (POM), Akrilonitril stiren akrilat (ASA), Polipropilen (PP)
Aydınlatma	Polikarbonat (PC), Polibütülen Tereftalat (PBT), Akrilonitril (ABS), Polimetil Metakrilat (PMMA), Doymamış Polyester (UP)
Döşemeler	Polivinil Klorür (PVC), Poliüretan (PUR), Polipropilen (PP), Polietilen (PE)
Sıvı deposu	Polipropilen (PP), Polietilen (PE), Poliamid (PA)

Plastik malzeme üretim prosesi olan enjeksiyonla kalıplama yöntemindeki mikro hücresel köpük teknolojisi (MuCell teknolojisi) plastik enjeksiyon prosesinde parça ağırlığını azaltmak için kullanılan teknolojilerden biridir (Tao, Hinduja, Heinemann, Gomes, Bartolo, 2020). Mikro hücresel malzeme de bulunan mikroskobik boyuttaki çok sayıdaki hücre çevrim süresini azaltmakta ve kullanılan malzemenin tüketimini azaltmaktadır (Tao ve diğerleri, 2020). MuCell teknolojisi mevcut plastik malzemelerle karşılaştırıldığında, kullanılan plastiğin ağırlığında %20'ye kadar azalma olabileceği ortaya konmuştur (Tao ve diğerleri, 2020).

### **Kompozitler**

Kompozit malzemelerde matris ve takviye malzemesi olmak üzere genellikle iki tip bileşen bulunur. Bu malzemeler birbirlerinden farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Bir araya getirilmeleri ile oluşan kompozit malzeme de her ikisinden farklı özelliklere sahip olur (Patel, Pardhi, Chopara, Pal, 2018)

Elyafla güçlendirilmiş kompozit, bir matris malzemesinde (polimer ve metaller, yani Al, Mg vb.) yüksek mukavemetli bir elyaftan (yani karbon veya cam) oluşur ve tek tek malzemelerle karşılaştırıldığında büyütülmüş özellikler sağlayabilmektedir (Zhang ve Xo, 2022).

Koltuk, tavan, direksiyon simidi, kapak, gösterge paneli, paspaslar, şok emici, iç ve dış panel, tekerlekler, yaprak yaylar, motor kapağı vb. birçok bileşen kompozit malzemelerden üretilmektedir (Zhang ve Xo, 2022). Hafif kompozit yapıların üretim prosesi için fiber takviyeli termoplastik malzemelere dayalı teknolojiler entegre edilebilir (Zhang ve Xo, 2022).

Yetkin, Ünal ve Mimaroğlu'nun (2012) PP/Talk/EPDM kompozit malzemesinin köpüklenmesi ile yaptıkları çalışmaya göre, kullanılan köpük ajanı oranının artması ile hücre sayısı ve hücre yoğunluğu artarken, hücre

boyutunun azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, kullanılan köpük ajanı oranına bağlı olarak %8 ile %13 oranında malzemede hafiflik sağlanmıştır. (Yetkin, Ünal ve Mimaroglu, 2012).

Araç hafifletme çalışmaları kapsamında, mevcut tasarımı, beklentileri sağlayan daha hafif alternatif malzemelerle optimize etmek yanı sıra mevcut tasarımı mevcut malzemelerle optimize etmek ve tasarımı geliştirmek de yapılan AR-GE ve literatür çalışmalarındandır.

Göleç (2019)'in, ticari araç yolcu koltuğu iskelet komponentindeki hafifletme çalışmasında, mevcut tasarımın değiştirilmesi ile araç başında 21,405 kg kazanç elde edilebilirliğini müşteri ve yasal gereklilikleri sağlayarak elde etmiştir (Göleç, 2019).

Çağlayan'ın (2020) yaptığı çalışmada aracın salıncak kolunun St 37 çelik malzeme yerine Al 5754 alüminyum alaşımı kullanımı ile hafifletme sağlanmaya çalışılmış, yapılan analizler ile salıncak kolunun çeliğin sağladığı aynı emniyet katsayısı ile alüminyumdan imal edilebileceği görülmüştür. Malzeme ve tasarım optimizasyonu ile gerçekleştirilen çalışmada 0,87 kg çelik yerine 0,35 kg alüminyum malzeme kullanımı ile %59 ağırlık azaltımı sağlanmıştır.

Kullanımının yaygınlaşması için, menzilin artırılması, maliyetinin azaltılması ve şarj sorunun giderilmesi gereken elektrikli araçlarda da, aynı kapasitedeki batarya ile daha fazla yol kat edebilmeleri için ağırlıklarının azaltılması gerekir. Elektrikli araçlar her ne kadar çevreci rol üstlenseler de, kullandıkları elektriğin üretiminin, yani hammaddeyi ürüne dönüştürmek için uygulanan işlemlerin de çevreci olması tercih edilebilirlikleri açısından tartışma konusudur. Ayrıca, kullanılan malzemelerin ömürlerini tamamladıktan sonra geri dönüştürebilir olması gerekir (Güven ve Rende, 2017). 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 (Güven ve Rende, 2017).

Araç hafifletme çalışmalarında kullanılan tüm parçaların üretimlerindeki çevresel etkileri detaylı analiz edilmeli, karbon ve su ayak izleri hesaplanmalı, yaşam döngüsü analizleri yapılmalıdır.

##### **5- Araç Hafifletme Çalışmalarındaki Yasal Hedefler**

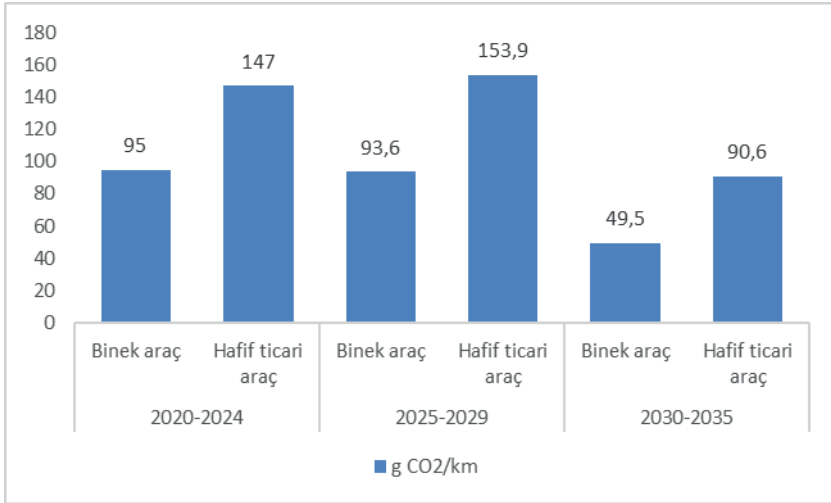
Binek otomobiller ve kamyonetler (hafif ticari araçlar), ana sera gazı olan CO<sub>2</sub>'in toplam AB emisyonları arasında sırasıyla yaklaşık %12'sinden ve %2,5'inden sorumludur (Birleşmiş Milletler Enerji Durum Raporu, 2023). Geçmişe göre daha katı CO<sub>2</sub> emisyon hedefleri Avrupa Birliği (AB) 2019/631 tüzüğü ile 2020'den bu yana yürürlüktedir. Avrupa'da kayıtlı olan yeni binek

otomobillerden kaynaklanan ortalama CO<sub>2</sub> emisyonları, 2019 ile 2020 arasında %12, 2020 ile 2021 arasında ise %12,5 düşmüştür. Emisyonlardaki düşüşün ana nedeni, 2021 yılında AB filosunun %10'una ulaşan sıfır emisyonlu binek araç kayıtlarındaki artışı olarak görülmektedir (Birleşmiş Milletler Enerji Durum Raporu, 2023).

19 Nisan 2023 tarihinde, Avrupa Parlamentosu ve Konsey, yeni binek otomobiller ile yeni hafif ticari araçlar için CO<sub>2</sub> emisyon standartlarını Avrupa Birliği'nin artan emisyon performans standartlarıyla uyumlu hale getirmek amacıyla AB 2019/631 sayılı Tüzüğü değiştiren AB 2023/851 sayılı Tüzüğü kabul etti. Değişiklik özellikle 2030'dan itibaren geçerli olan emisyon hedeflerini güçlendirmekte ve 2035'ten itibaren %100 azaltım hedefi koymaktadır.

Yönetmelikte belirlenen AB genelindeki zamana bağlı CO<sub>2</sub> emisyon hedefleri Tablo 5'deki gibidir.

Tablo 5. AB mevzuatındaki CO<sub>2</sub> emisyon hedefleri (g CO<sub>2</sub>/km) (AB 2023/851)



Ülkemizde otomotiv sektörü, Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) verilerine göre 2023 yılında 35 milyar dolarlık ihracat gerçekleştirmiştir. Tüm ülke ihracatındaki sektörler arasında %16'lık oranla en çok ihracat getirisine sahiptir (tim.org.tr).

Otomotiv Endüstrisi İhracatçılar Birliği (OİB) verilerine göre ise 2023 otomotiv ihracatı 31 milyar dolar açıklanmıştır. Tablo 3'de görülmektedir ki %68 oranla otomotiv ihracatımızın 2/3'sinden fazlası AB'ne yapılmaktadır (<https://oib.org.tr/>). AB hedeflerine bağlı olarak, sektörün CO<sub>2</sub> emisyonları azalma hedefleri yıllardır ülkemiz otomotiv sektörünün gündeminde olsa, gelişen dünyada yeni çözümler bulunması gerekliliği şarttır.

## 6- Araç Hafifletme Çalışmalarının Çevresel Etkilerinin Araştırılması

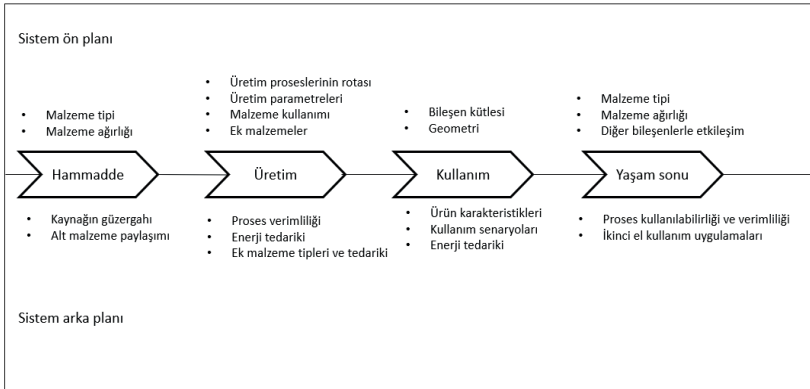
Bir disiplin olarak hafif tasarım, malzeme bilimi, ürün ve süreç geliştirme ve matematiğin birleşimidir. Bahsedilen disiplinlerin bazılarında odaklanabilecek çeşitli yaklaşımlar vardır. Hafif tasarım, alüminyum, magnezyum veya kompozitler gibi hafif malzemelerin uygulanmasıdır. Boyutlandırma amacıyla gerekliliklerin ve yük durumlarının belirlenmesi açısından ürün spesifikasyonu da girdi sağlamaktadır. Hafif tasarıma yönelik kullanılması düşünülen malzemelerin boyutlandırılması için ileri mekanik teorilerinin kullanılması gerekmektedir.

Araç hafifletme çalışmaları ve üretime entegrasyonu için çok sayıda yöntem ve araç kullanılmaktadır. Bu çalışmalar genellikle Eco Design veya Çevre için Tasarım kavramlarıyla karşımıza çıkar. Ürün tasarımı ve geliştirme aşamasında değerlendirilen bu kavramlar, yaşam döngüsü mühendisliği ile LCA'yı temel alan niceliksel yaklaşımlara yapılırlar. Bunlar kavramsal tasarım aşamasında ve otomotiv hafif bileşen geliştirmede uygun yöntem ve araçlarla desteklenmesi gereken önemli etkenlerdir (Klauza, Kleemann, Frohlich, Herrmann, Vietor, 2017). Otomotiv sektöründeki ürün geliştirme aşamasında farklı proseslerden kaynaklanan farklı parametreleri dikkate alan LCE kararları ürünün yaşam döngüsü için son derece önemlidir (Klauza ve diğerleri, 2017)

Yaşam döngüsü çalışmasında, bir ürünün veya hizmetin yaşam döngüsü ve etkileri modellenir. Bu modelleme ve beşikten mezar kadar olan yolculuğundaki tüm aşamalarını içermektedir. Buna göre Şekil 2'de açıklandığı gibi önce sistem sınırları belirlenir ve envanterler ortaya konur.

Şekil 2

Hafif bileşen kullanımlı LCA'da sistemsel özeti (Klauza ve diğerleri, 2017)



Bileşen geliştirme konusunda LCE'nin ileriye dönük uygulanmaları, daha sonra yapılacak çalışmalara ışık tutmayı, yinelenmelerde mevcut bilgileri

sağlama almayı ve geliştirme imkanları yaratmayı amaçlar. Çok çeşitli parametreler göz önüne alındığında, belirsizliklerin ele alınması temel bir araştırma talebi olarak görülmektedir.

Kurumların ve ürettikleri ürünlerin, çevresel etkilerini bir bütün olarak ortaya koyabilmeleri için ise, bilim temelli hesaplamalarla, şeffaf ve açık bir şekilde yapılması önem teşkil eder. GRI-Sürdürülebilirlik Raporlama (Global Reporting Initiative), şirketlerin çevresel, sosyal ve yönetim (ESG) performanslarını değerlendirmek ve raporlamak için uluslararası kabul gören bir standarttır. 1997 yılında kurulan bu inisiyatif, sürdürülebilirlik raporlamasında kullanılmaktadır.

Ülkemiz otomotiv sektöründen Ford Otosan ve Tofaş Türk Otomobil Fabrikası'nın sürdürülebilirlik raporu analizine yer verilmiştir (Tofaş, 2022, Ford, 2022).

2022 yılında Türkiye ihracatında 1. sırada yer alan Ford ve 9. sırada yer alan Tofaş'ın sürdürülebilirlik raporlarında, karbon nötr olma hedefi yer almaktadır. (Tofaş, 2022, Ford, 2022). Her 2 firma da, hafif araç teknolojilerinin geliştirilmesinin başlıca yatırım alanlarından biri olduğu beyan etmekte olup, araç hafifletme konusunda 2 performans göstergesine yer vermektedir (Tablo 6). (Tofaş, 2022, Ford, 2022).

*Tablo 6*  
*Çevresel Performans Göstergesi (Tofaş, 2022, Ford, 2022).*

Firma	Sera Gazı Emisyonu (tonCO <sub>2</sub> e/ araç)	Enerji Tüketimi (GJ/araç)
Ford	0,300	3,30
Tofaş	0,249	3,19

Tablo 6'da her iki firmanın çevre performans göstergeleri incelendiğinde, Ford'un sera gazı emisyonu ve enerji tüketiminin fazla olduğu görülmektedir. Bu durumunun nedeninin, Ford üretim hattında sadece hafif ticari araçlar üretilmesi, Tofaş üretim hattında ise binek araç daha fazla olacak şekilde hafif ticari araç ile binek araçların birlikte üretilmesi olduğu düşünülmektedir.

## 7- Sonuçlar

Bir önceki yüzyılda enerji üretimi ve otomotiv sektörü toplumsal devrim yaratırken günümüzde beraberinde getirdiği çevresel yükleri ve sürdürülebilir kalkınma çözümleri bulmaya çalışılmaktadır.

Üretim prosesleri, malzeme yapıları ve özelliklerinin nasıl etkileşimde bulunduğu anlaşılması, cevaplanan/cevaplanması gereken ön önemli konulardır. Tasarımcılar ve mühendisler geleneksel malzemeler için standart

teknik bilgilere ve tasarım kriterlerine sahipken, “daha yeni” malzemeler için uygulamaya özel bilgiler 1995 yılında olduğu gibi bugün halen geliştirilme aşamasındadır.

Otomotiv endüstrisi, gerek üretim prosesleri gerekse birçok bileşenden meydana gelmesi kaynaklı, hammadde tedariki ile büyük ve karmaşık süreçler içerisinde. Bir otomobilden beklenen temel unsurlar, güvenliği, çevre dostu olması, konforu, fiziksel, kimyasal ve ekonomik sınırlamaları, bu sektörün kaynaklarını verimli kullanımını ve mevcut şartlarını sürekli olarak iyileştirmesini gerektirir. Bu nedenlerle otomotiv endüstrisi üzerinde sürdürülebilir kalkınma çözümleri bulmaya yönelik beklenti her geçen gün artmaktadır. Sektörün, artan tüketici taleplerini karşılarken ekonomik, sosyal ve çevresel etkileriyle sürdürülebilirliğin üç boyutunu da ele alması gerekmektedir. Gelecek nesillere yaşanabilir bir ortam bırakmak için çevresel boyut ve etkileri şüphesiz çok önemlidir.

Türkiye'nin en büyük ihracat kalemlerinden olan otomotiv sektörünün, en fazla ihracat yaptığı Avrupa Birliği, 2050 yılına kadar net olarak sıfır sera gazına ulaşabilmek için karbon nötr olmayı hedeflenmiştir. Bu hedef için yapılanlar, farklı disiplinlerin çalışmalarıyla var olan ve gelişen otomotiv sektöründe, Ar-Ge çalışmaları ve iyileştirme projeleri ile gerçekleşmektedir. Araç hafifletme çalışmalarının bir parçası olduğu karbon nötr hedefine ulaşmak için, mevcutta yapılmış olan çalışmalar geliştirilmeli, kıyaslama çalışmaları yapılarak iyi uygulamalar örnek alınmalı, yeni teknoloji ve uygulamalara yapılacak yatırımlarla ortak hedefe sistemin bir parçası ilerlenmelidir.

Üniversiteler, ulusal ve uluslararası devlet kurumları, otomotiv üreticileri ve yan sanayiler bu çok önemli ortak amaç için birlikte çalışmaldırlar.



## KAYNAKÇA

- Avrupa Birliği Mevzuatı 2019/631. Yeni binek otomobiller ve yeni hafif ticari araçlar için CO2 emisyon performans standartlarının belirlenmesi. Erişim adresi: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32019R0631>
- Avrupa Birliği Mevzuatı 2023/851 Erişim adresi: [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/co2-emission-performance-standards-cars-and-vans_en)
- Birleşmiş Milletler Enerji Durum Raporu (2023). Erişim adresi: [https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/climate-action-progress-report-2023-2023-10-24\\_en](https://climate.ec.europa.eu/news-your-voice/news/climate-action-progress-report-2023-2023-10-24_en)
- Çağlayan, R. (2020) Taşıtlarda Ağırlık Azaltımında Hafif Malzeme Olarak Alüminyum Kullanımı ve Optimizasyon (Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü) Erişim adresi: <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/63f4a1c8-565d-48bf-86c7-a8450bea4552/content>
- Demirtürk, D., (2021). Sürdürülebilir Ulaşımında Sera Gazı Etkisini Azaltmaya Yönelik Çalışmalar, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi 9(4), 1080 – 1092, doi: 10.21923/jesd.932385
- EPA. (2023, 28 Ağustos)Erişim adresi: <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle#:~:text=typical%20passenger%20vehicle%3F-,A%20typical%20passenger%20vehicle%20emits%20about%20-4.6%20metric%20tons%20of,8%2C887%20grams%20of%20CO2.> (10 Mart 2024)
- Ford, 2022. Sürdürülebilirlik Raporu. Erişim adresi: <https://www.fordotosan.com.tr/documents/Surdurulebilirlik/ford-otosan-2022-surdurulebilirlik-raporu.pdf>
- Göleç, M. (2019). Otomotiv Sektöründe Koltuk İskeletinin Alternatif Malzemelerle Optimizasyonu (Yüksek lisans tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü) Erişim adresi: <https://acikerisim.uludag.edu.tr/server/api/core/bitstreams/a0162357-9585-4908-acd7-cb4319aef099/content>
- Güven, F., Rende H. (2017). Mühendis ve Makina 58/689, s. 81-95 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/muhendismakina/issue/48819/621679>
- IPCC. (2007) Intergovernmental Panel on Climate Change / Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli Sentez Raporu, Erişim adresi:[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4\\_syr\\_full\\_report.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf)
- IPCC. (2015). Intergovernmental Panel on Climate Change Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli, Erişim adresi: <https://repository.ubn.ru.nl/bitstream/handle/2066/230961/230961.pdf?sequence=1>
- Kaluzaa, A., Kleemann, S., Frohlich T., Herrmann, C., Vietorb, T. (2017) Concurrent design & life cycle engineering in automotive lightweight component development. Procedia CIRP 66 ( 2017 ) 16 – 21.doi: 10.1016/j.procir.2017.03.293

- Oral, O., Uğuz, S., (2020). Türkiye'deki Farklı Sektörlere Ait Sera Gazı Emisyon Değerlerinin Çok Katmanlı Algılayıcılar ve Topluluk Öğrenmesi Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2), 464-478. doi: 10.29137/umagd.646038
- Otomotiv Endüstrisi İhracatçılar Birliği (OİB) Raporu, (2023) Erişim adresi: <https://oib.org.tr/tr/default.html>
- Patel, M., Pardhi, B., Chopara, S., Pal, M. (2018). Lightweight Composite Materials for Automotive - A Review 5/11 Erişim adresi: [https://www.researchgate.net/publication/340646173\\_Lightweight\\_Composite\\_Materials\\_for\\_Automotive\\_-\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/340646173_Lightweight_Composite_Materials_for_Automotive_-_A_Review)
- Patil, A., Patel A., Purohit R. (2017). An overview of Polymeric Materials for Automotive Applications. 4/2A, 807-3815 doi: 10.1016/j.matpr.2017.02.278
- Taub, A. I., Luo, A., A. (2015). Advanced lightweight materials and manufacturing processes for automotive applications. Materials Research Society V:40. doi: 10.1557/mrs.2015.268
- Tofaş, 2022. Sürdürülebilirlik Raporu. Erişim adresi: <https://www.tofas.com.tr/Surdurulebilirlik/SurdurulebilirlikRaporlari>
- Türkiye İhracatçılar Meclisi (TİM) Raporu (2023) Erişim adresi: <https://tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari>
- Yeni, O. (2014). Sürdürülebilirlik ve Sürdürülebilir Kalkınma: Bir Yazın Taraması, Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi 16/3, 181-208 Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/287214>
- Yetgin, S. H., Ünal, H., Mimaroglu, A. (2012, Haziran). Otomotiv Sektöründe Kullanma Amaçlı Polimer Köpük Malzeme Üretimi ve Özellikleri, OTEKON 6. Otomotiv Teknolojileri Kongresi Bursa.
- Yılmaz, A. (2012). Türkiye'de Sektörel Enerji Tüketimini Etkileyen Faktörler ve Alternatif Enerji Politikaları (Yüksek lisans tezi, Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü) Erişim adresi: <http://adudspace.adu.edu.tr:8080/xmlui/bitstream/handle/11607/1071/4249444.pdf?sequence=1>
- Zhang, W., Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for Automobiles: A review. Materials&Design 221:110994.doi: 10.1016/j.matdes.2022.110994

# BÖLÜM 15

## **KARBON AYAK İZİ**

*Didem EREN SARICI<sup>1</sup>*  
*Melike YAMACI ÜNSAL<sup>2</sup>*



<sup>1</sup> Doç. Dr., İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, didem.sarici@inonu.edu.tr, ORCID:0000-0003-2639-5226

<sup>2</sup> Maden Yük. Müh., İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, mlkymc@hotmail.com, ORCID:0000-0002-8526-5686

## 1. GİRİŞ

Günümüzün getirisi olan artan nüfus, kentleşme, sanayileşme, insanların tüketim alışkanlıkları sahip olduğumuz doğal kaynakların kullanımını arttırmaktadır. Son yıllarda, çevre kirliliği, ormanların yok edilmesi, susuzluk, iklim değişikliği ve küresel ısınma, ülkelerin gündeminde oldukça sık yer almaktadır. Sürdürülebilirlik kavramı gün geçtikçe önemini arttırmakta ve buna bağlı olarak da ‘yeşil ekonomi’ kavramı orataya çıkmaktadır. Karbon salınımlarının azaltılması ve kontrol altına alınmasını hedefleyen yeşil ekonomi çevrenin korunması öngörmektedir (Özsoy, 2015).

Günümüzde insanların kaynak kullanımına bakıldığında başta gelen çevre sorunu, küresel ısınmaya bağlı iklim değişiklikleri olarak görülmektedir. İklim değişikliği, insan faaliyetlerinin Dünyanın doğal dengesi üzerindeki etkilerini ifade eden bir kavramdır (IPCC, 2024). İnsanların ihtiyacı olan enerji fosil yakıtlar ile sağlanmakta olup bu yakıtların kullanımından kaynaklanan karbon salınımları iklim değişikliğinin ana nedenidir (Üreden ve Özden, 2018). Artan nüfus ve teknolojinin de gelişmesiyle birlikte ihtiyaç duyulan enerji de katlanarak artmaktadır ancak sahip olduğumuz kaynaklar sınırsız değildir. Kullanılan kaynakların bir kısmı yenilenebilir kaynaklardır. Sürdürülebilirlik kavramının uygulanabilmesi için özellikle üretim sektöründe yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı gerekmektedir. Ancak, insanların kullandığı kaynak miktarının, doğanın bize sunduğu kaynak miktarını geçmemesi ile bir denge kurulabilecektir. Sürdürülebilirlik tam da bu noktayı işaret etmektedir. (Özsoy, 2015). İnsanoğlunun doğayı kullanırken yaptığı her faaliyet doğada bir etki bırakır.

Üretim ve tüketim faaliyetlerinin sebep olduğu olumsuz etkiler gün geçtikçe artmaktadır. Günümüzde, bugüne kadar sebep olunan karbon salınımlarının sonucu olan iklim değişikliğinin etkilerini mümkün olduğunca ortadan kaldırmak ülkelerin ortak hedefi olmuştur. Bu etki, karbon ayak izi hesaplamalarıyla belirlenmektedir.

Son on yılda çevre bilimciler, doğal kaynakların insanlar tarafından ne kadar kullanıldığını miktarsal olarak ölçmek için ayak izi kavramını ortaya atmışlardır. Söz konusu bu tüketim ayak izi kavramı altında üç bölümde ele alınmaktadır. Bu başlıklar; ekolojik ayak izi, karbon ayak izi ve su ayak izidir (Gökçek ve diğ., 2019).

Karbon ayak izi kavramı ile insanoğlunun üretim-tüketim faaliyetlerinin doğa üzerindeki etkileri nicel verilerle ortaya konulmakta böylece çevresel sürdürülebilirlik ile ilgili bilgi sahibi olunmaktadır. Karbon ayak izi analizi ile “sahip olduğumuz doğal kaynakların ne kadarını kullanıyoruz” sorusunu kendimize yöneltmiş ve faaliyetlerin doğal çevre üzerindeki etkilerini belirlemiş oluyoruz. Başta Kyoto protokolüne imza atan taraf ülkeler olmak üzere, dünya üzerinde ki bir çok ülke düzenli olarak karbon salınımlarını

raporlamakta ve kurumsal ve bireysel bazda karbon salınımlarını azaltmak üzere çalışmalar yapmaktadır. Kurum bazında yapılan karbon ayak izi hesaplamaları ise yasal zorunluluklara ek olarak müşteri ve yatırımcı talepleri kurumsal imaj, pazarlama gereksinimleri ayrıca sosyal sorumluluk gibi konular nedeniyle zorunluluk ve gönüllülük esaslı olarak yapılmaktadır (Üreden ve Özden, 2018).

İklim değişikliği konferans yada anlaşmalarında taraf olmuş ülkeler, yıllık bazda karbon salınım değerlerini her üç yılda bir belirlenmiş olan bir merkeze bildirmek zorundadır. York Üniversitesi işbirliğiyle Global Footprint Network (Küresel Ayak izi Ağı) üzerinden her üç yılda bir raporlanan biyolojik kapasite ve ekolojik ayak izi verileri açık erişim ile görülebilmektedir. Protokollerle veya standartlarda belirtilen bazı yöntemlerle global, ülke, şehir, kurum, ürün ve bireysel bazda ekolojik ayak izi, karbon ayak izi ve biyokapasite hesaplamaları yapılabilmekte ve elde edilen güncel verilerle ileriki yıllarda karşılabileceğimiz tablo ortaya koyulabilmektedir. Bununla birlikte alınması gereken önlemlerle ilgili bir yol haritası çizilebilmektedir.

IPCC, hükümetler arası iklim değişikliği paneli tarafından yapılan tanımlamada iklim durumundaki ortalama ve/veya özelliklerin değiştiği kadar tanımlanabilen uzun süre tipik olarak on yıllarca devam eden değişiklik şeklinde geçmektedir. Başka bir tanımlamada Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (UNFCCC) ve onun Kyoto Protokolü kapsamında yapılan tanımlamada ise doğal iklim değişikliğine ek olarak küresel atmosferin insan faaliyetlerine doğrudan veya dolaylı olarak atfedilen bir iklim değişikliği şeklinde yapılmaktadır

İklim değişikliğinin ana kaynağı bir çok iklimbilimci tarafından sera gazları olarak işaret edilmektedir. Bir başka grup bilim adamı ise sera gazları emisyon değerlerinin değişiminin ekonomik açıdan zararı olan neden-sonuç zincirini tetiklediğini savunmaktadır (Shine ve diğ., 2005).

Sera gazı artışının en önemli nedeni 19. Yüzyılda gerçekleşen sanayii devrimi, bunun getirdiği nüfus artışı, teknolojik ilerlemeler, yaşam standartlarının yükselmesi ve bunların getirdiği enerji ihtiyacı artışıdır. 1800 lerden sonra gelen yüzyılda küresel yüzey hava sıcaklığı 0,3 ile 0,6 °C artmıştır (IPCC, 1990).

Ulusal havacılık ve uzay dairesi (NASA) ya ait istatistik verilerine göre CO<sub>2</sub> salınımı 1956'da 315,71 ppm iken 2014 yılında 398 ppm'e yükselmiş ve 2040 yılına kadar 450 ppm'ye erişmesi ise öngörülmektedir (www.nasa.gov.tr).

Türkiyede ise 2021 yılında toplam sera gazı emisyonu 564.4 mt CO<sub>2</sub> eşdeğer olmuştur. Bu değerle toplam sera gazı emisyonlarının bir önceki yıla göre yüzde 7.7 artış gösterdiği anlaşılmaktadır. CO<sub>2</sub> eşdeğeri baz alındığında 2021

yılında en büyük pay %71,3'lük oran ile enerji kökenli kaynaklar, %13,3'lük pay ile endüstriyel faaliyetler, %12,8'lik pay ile tarım, %2,6'lık pay ile atık sektörüne aittir.

### 1.1. Ekolojik Ayak İzi

İnsanoğlunun doğaya bıraktığı iz olarak tanımlanabilen ekolojik ayak izi, bir bireyin veya bir toplumun yada bir faaliyetin faaliyetlerini sürdürülebilirlik için tükettiği kaynakları yerine koymak ve oluşan atığı bertaraf etmek için kullanılan verimli toprak ve su alanı şeklinde tanımlanabilir. Ekolojik ayak izinin altı tane bileşeni mevcuttur. Bu bileşenler; karbon ayak izi, orman ayak izi, yapılandırılmış alan ayak izi, balıkçılık ayak izi, otlak ayak izi, tarım arazisi ayak izi şeklinde sıralanabilir (Özsoy, 2015).

## 2. KARBON AYAK İZİ VE TANIMLAMALARI

Karbon ayak izini genel olarak açıklayan bir tanım olmamakla beraber bu kavram farklı kişiler tarafından farklı şekillerde açıklanmaya çalışılmıştır. Karbon ayak izi değişik araştırmacılar tarafından tanımlanarak literatüre girmiştir. Bu tanımlamalar şu şekildedir.

Wiedmann ve Minx tarafından 2007 yılında yapılan tanımlamada; bir faaliyetin doğrudan veya dolaylı olarak neden olduğu veya bir ürünün kullanım süresi boyunca biriken toplam CO<sub>2</sub> emisyonlarının ölçümüdür denilmektedir. EPLCA tarafından yapılan tanımlamada karbon ayak izi (CF), bir ürünün üretim süreci boyunca ve bazen ömrünü tamamladığında geri kazanımı ve bertarafıyla ilişkili karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ve diğer sera gazı emisyonlarının (Metan ve güldürücü gaz gibi) toplam miktarıdır denilmektedir. Moss vd. 2008 yılında yaptıkları tanımlamada bir birey, bir şirket veya bir ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca doğrudan veya dolaylı olarak ortaya çıkardığı toplam sera gazı miktarıdır (Mutlu, 2018).

Karbon ayak izi kavramı ilk kez 2000'li yılların başında gazetelerde görülmeye başlamış, 2005 yılına kadar yaygınlaşarak bilimsel literature girmiştir. Gunathilaka ve Gunawardana tarafından (2015) yılında yapılan bir çalışmada karbon ayak izi genel olarak, günlük hayatta yaptığımız işlerden başlayarak (çamaşır yıkama gibi) çocukların okul servisi ile naklinin yapılmasına kadar değişkenlik gösteren günlük faaliyetler neticesinde ortaya çıkan karbondioksit (CO<sub>2</sub>) miktarıdır" şeklindeki tanımlamaya benzeyen bir tanımlama yapmışlardır. Bu tanımlamalara göre otomobilin çalışması nedeniyle hem yanmış durumdaki yakıtlar hem de çamaşır makinesinin çamaşır yıkama işi için kullandığı elektriğin dolaylı ve doğrusal etkileri ile açığa çıkan gaz emisyonlarının etkileri göz önüne alınmalıdır. Peki bu tanımlamalara hangi gazların etkilerini hesaba katmak gereklidir? Wright vd. 2011 sadece CO<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>'ün (karbon temelli iki gaz olmaları nedeniyle) yeterli olacağını ifade etmişlerdir. Bu tanımlamalardan ve ifadelerden yola çıkarak karbon

ayak izinin, bireylerin, toplumların, ülkelerin, şirketlerin, organizasyonların, süreçlerin, endüstriyel sektörlerin vb. faaliyetlerini içerdiğini söyleyebiliriz (Mutlu, 2018).

Karbon ayak izini birincil (doğrudan) ve ikincil (dolaylı karbon ayak izi) şeklinde gruplandırabiliriz. Birincil karbon ayak izi, fosil yakıtların yanmasından ortaya çıkan doğrudan karbondioksit (evsel enerji tüketimi ve ulaşım kaynaklı), ikincil karbon ayak izi ise ürünlerin imalatından bozularak ömürlerini bitirmelerini kapsayan yaşam döngülerine bağlı olan karbondioksit emisyonlarıdır (Özsoy, 2015).

## 2.1. Karbon Ayak İzi Hesabı

Karbon ayak izi hesabı herhangi bir standardı bulunmayan, birey, ürün, kurum/tesis ve ülke bazında yani değişik ölçeklerde yapılabilen ve aslı sera gazı yayma sürecinin analizine dayanan tekniklere dayanmaktadır. Karbon ayak izi hesabının aslı ürünlere ve faaliyetlere dayanmaktadır. Farklı ölçeklerde yapılan karbon ayak izi hesabı yöntemleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Birey, kurum ve ülkeler ölçeğinde karbon ayak izi hesabı

Birey	Ürün	Kurum	Ülke
<ul style="list-style-type: none"> <li>› Toplu taşıma</li> <li>› Uçak seyahatlerinin azaltılması</li> <li>› Hayvansal ürünlerin tüketiminin azaltılması</li> <li>› Gıdayı mevsiminde tüketmek</li> <li>› Atık yönetimi (azalt, yeniden kulan, dönüştür)</li> <li>› Organik atıkların geri dönüşümü</li> <li>› Konut enerji kullanımını azaltmak</li> <li>› Konutlarda termostan kullanımını arttırmak ısıtma ve soğutmayı %7-15 oranında azaltmak</li> <li>› Enerji tasarruflu beyaz eşya kullanımı</li> <li>› Su kullanımını azaltmak</li> <li>› Yağmur hasatı</li> <li>› Kurakçıl peyzaj ve bahçe kullanımını arttırmak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Ürünler için yaşam döngüsü analizinin yapılması</li> <li>› Life Cycle Assessment (LCA)</li> <li>› Ürünlerin Karbon Ayak izi ISO 14067:2018</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Kurumsal karbon ayak izinin hesaplanması</li> <li>› Endüstriyel tesislerin sera gazı emisyonlarının izlenmesi ve raporlanması sürecini başlatmaları</li> <li>› Mevcut durumun ortaya konulması ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'na başvurulması</li> <li>› Sera gazı izleme ve raporlama ISO 14064</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>› Paris İklim Anlaşması'nın onaylanması</li> <li>› Ülkesel yükümlülükleri yerine getirme</li> <li>› Yeşil mutabakat</li> <li>› AB iklim stratejilerinin Türkiye'ye adaptasyonu               <ul style="list-style-type: none"> <li>› UNFCCC</li> <li>› Kyoto Protokolü</li> <li>› Paris Anlaşması</li> </ul> </li> </ul>

Karbon ayak izi hesaplama yöntemleri eylem ve ürün temelli olsa bile hepsinin temelinde IPCC ve Sera Gazı protokolü yer almaktadır. 1996 yılında IPCC Ulusal sera gazı envanteri kılavuzu ve bu kılavuza dayanan kurumsal sera gazı standartları 2001 yılında sera gazı protokol girişimi ile yayımlanmıştır. Sera gazı ve karbon ayak izi hesaplama araçları işletme ve sürece özgü detaylandırma gibi farklılıklardan kaynaklı olan ama temelde aynı olan yöntemlerle yapılır (Mirici ve Berberoğlu, 2022).

Ürün bazında karbon ayak izi hesaplanırken bireysel tüketim alışkanlıklarına hizmet eden süreçlerin tamamı ele alınmalıdır. Bu maksatla ürünler için yaşam döngüsü analizi (Life Cycle Assessment-LCA) yapılmaktadır. Bu

analiz hammaddenin çıkarımından, üretim, sevkiyat, tüketici kullanımı ve kullanımdan sonra bertaraf edilmesi dahil olmak üzere tüm çevresel etkilerin belirlenmesi, raporlarının tutulması ve yönetilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Çizelge 2’de karbon ayak izi hesaplamasında kullanılan ISO standartları verilmiştir.

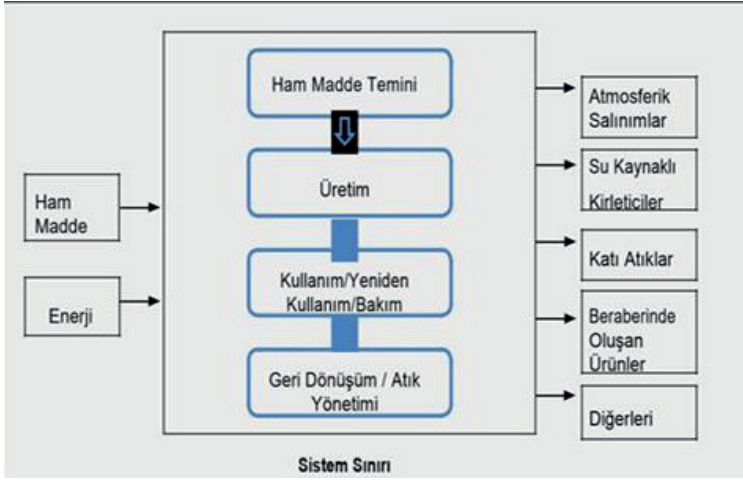
*Çizelge 2. Karbon ayak izinin hesaplanmasında kullanılan ISO standartları*

<b>Standart</b>	<b>Standart Açıklaması</b>
ISO 14064-1: 2018	Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırılmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
ISO 14064-2: 2019	Sera Gazı Emisyon Azaltmalarının veya Uzaklaştırıma İyileştirmelerinin Proje Seviyesinde Hesaplanmasına, İzlenmesine ve Rapor Edilmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
ISO 14064-3: 2019	Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
ISO 14065: 2013	Sera Gazı Doğrulayıcı Kuruluşların Akreditasyonlarına Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı
ISO 14066: 2011	Sera Gazı Baş Doğrulayıcıları ve Doğrulama Ekibi Yeterliliklerine Dair Kılavuz ve Özellikler
ISO 14067: 2018	Ürünlerin Karbon Ayak İzi Ölçülmesine Dair Kılavuz ve Özellikler Standardı

## **2.2. Yaşam Döngüsü Analizi**

Yaşam döngüsü analizi üretimi yapılan herhangi bir ürünün hammaddesinin eldesi, üretim süreci, ürünün nakliyesi, kullanımı ve sonrasında bertaraf edilmesi aşamalarında yani tüm yaşam döngüsü boyunca çevreye karşı etkilerini hesaplayan, üretimindeki problemleri belirleyerek süreçteki sorunların kaynağına inmek için kullanılan bir araçtır. Yaşam döngüsü analizi ile üretim süreçlerinin çevresel etkileri rakamsal olarak verilerle ortaya konmaktadır ve bu analizi yapan çok sayıda yazılım geliştirilmiştir. Bu analiz sayesinde üreticiler ürettikleri ürünlerin tasarımından bertaraf edilmesi aşamalarına kadar ortaya çıkan kirliliğin sorumluluğunu almaktadırlar. Yaşam döngüsü analizinin aşamaları Şekil 1’de verilmiştir (Dikbaş ve Mezarciöz, 2019).





Şekil 1. Yaşam döngüsü analizi aşamaları

Yaşam döngüsü analizine analizin amacının ve kapsamının belirlenmesiyle başlanılır. Bu aşamaları sırasıyla envanter analizi, etki değerlendirmesi izler. Analiz, sonuçların yorumlanması ve iyileştirme aşamaları ile son bulur. Bu alanda geçerli olan ve kullanılan standartlar Çevre Yönetim Sistemleri olarak bilinen ISO 14000 serisinden ISO 14040 (Environmental management - Life Cycle Assessment: Principles and Framework) (ISO, 2006a) ve ISO 14044 (Environmental management - Life Cycle Assessment: Requirements and Guidelines) (ISO, 2006b) standartlarıdır. Bunun yanı sıra Türk Standartları Enstitüsü (TSE) tarafından “Hayat Boyu Değerlendirme” adı altında yayımlanmış olan TS EN ISO 14040: Hayat Boyu Değerlendirme – İlkeler ve Çerçeve ile TS EN ISO 14044: Hayat Boyu Değerlendirme – Gereklere ve Kılavuz isimleriyle Türkçeye çevrilmiştir (Gürsel ve Meral, 2012).

Yaşam döngüsü analizi dört aşamadan oluşmaktadır. Her bölüm kendinden önceki bölümü izlemekte gerekirse çalışılan bölümde yer alan eklemeler ve sonuçlarla geçmiş bölümlerde revizyonlar yapılmaktadır. İlk aşamada analizin amacı ve kapsamı belirlenmeli ve ortaya konulmalıdır. Ürün, işlem veya yapılacak olan faaliyetin tanımı yapılarak değerlendirme bağlamında sınırlar çizilmeli ve çevresel etkiler gözden geçirilmelidir. Yaşam döngüsü analizi için gerekli olan zaman ve kaynaklar belirlenmelidir. Bu aşama bütün işlem ve süreçlere rehberlik eden aşamadır. Bu aşamalardan ikincisi olan envanter analizi olayın temelini oluşturmaktadır. Bu aşamada hizmet ve ürünlerin ham verileri toplanır ve analiz edilir. Diğer aşamalara oranla daha fazla zaman alır ve detaylı bir çalışma gerektirir. Bu aşamada hizmet veya ürünlerin yaşam döngüsü süresince tükettiği girdiler ile kullanımı sonucunda oluşturduğu çıktılar bir araya getirilir. Üçüncü aşamayı oluşturan Etki Değerlendirmesi bölümü, Envanter Analizi’nde toplanan verilere dayanmaktadır. Yaşam döngüsü analizinin ilk aşamalarında tanımlanan potansiyel çevresel etki

kategorilerine göre hizmet veya ürünlerin etkileri hesaplanmakta ve yaşam döngüsü sürecinde ortaya çıkacak çevresel etkiler belirlenmektedir (Gürsel ve Meral, 2012).

### 2.3. IPCC Metoduna göre kurumsal karbon ayak izi hesabı

Hükümetler arası iklim değişikliği paneli (IPCC) iklim değişikliğini dünya çapında değerlendiren ve kuruluşu Birleşmiş Milletler tarafından yapılmış olan bir birleşmedir. IPCC, Birleşmiş Milletler Çevre Programı ve Dünya Meteoroloji örgütü ile birlikte iklim değişikliğinin etkileri ve gelecek nesiller üzerindeki tehlikeleri ile ilgili bilgiler ve öneriler sunar. Bu amaçla hazırladığı raporlar tarafsız ve şeffaftır. Bu konuda yapılan araştırmalara göre iklim değişikliği üzerinde en etkili faktör sera gazlarıdır. Sera gazları emisyon değerleri yayımlanarak ülkelerin sera gazını hesaplama yöntemleri belirtilmiş, kullanılan malzemelere, yakıtlara göre emisyonlar belirlenmiştir (Hünerli, 2023).

Bu yöntemde Tier yaklaşımları adı verilen metodlar geliştirilmiştir. Tier yaklaşımları faaliyet ve kullanılan teknolojinin detaylarını baz alır ve üç farklı seviyeden (Tier 1, Tier 2, Tier 3) oluşur.

#### 2.3.1. Tier 1 Yaklaşımı

Tier 1 yönteminde ülkelere ait olan yakıt kullanım verileri ile emisyon faktörleri kullanılarak hesaplamalar yapılır. (Hünerli, 2023). Bu yöntem kullanılan yanma teknolojisi ve diğer detayların hesaba katılmadığı, X kadar yakıtın kullanılması durumunda Y kadar emisyonun ortaya çıktığını hesaplayan bir yaklaşımdır. Aslında hesaplamalara bu gazların emisyonu için kullanılan yakıt tipi, yanma teknolojisi, çalışma koşulları, kontrol teknolojisi, araç yaşı ve aracın özellikleri gibi verilerinde katılması gereklidir. Bu yöntemde bu tip verilerin detaylı olarak edinilemediği düşünüldüğünde iyileştirmeler yapılmadan yaklaşık sonuçlarla hesaplamaların yapıldığı bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır (Atabay, 2015).

Tier 1 yaklaşımında karbondioksit salınımının hesabı şu aşamalar ile yapılır,

- Yakıt kullanım miktarı belirlenir. Yakıt kullanım miktarının enerji içeriği belirlenir.
- Yakıtın karbon miktarı IPCC kılavuzundan her yakıt türü için karbon emisyon faktörü kullanılarak belirlenir.
- Oksitlenmeyen karbon miktarı her yakıt türü için yanma olayında bulunarak yanmaya tamamen katılan karbon değeri hesaplanır.
- Elde edilen net karbon değeri, karbondioksitin moleküler ağırlığının karbonun molekül ağırlığına bölünmesiyle de karbondioksit değeri hesaplanmış olur.

- Hesaplanan sonuçlar CO<sub>2</sub> değerindedir. Yakıtların hangi teknoloji ve araçlarla yakıldığı önemsenmez (Hünerli, 2023).

### 2.3.2. Tier 2 ve Tier 3 Yaklaşımları

Tier 2 yaklaşımında ülkelerin yakıt kullanım verilerinin yakıt türlerinin çeşidine göre kendine göre belirlediği emisyon faktörü kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemde yakıtın türü, kullanıldığı teknolojinin yaşı, bakım kalitesi, kontrol teknolojisi, çalışma koşulları gibi parametreler göz önünde bulundurulur. Bu parametreler ülkeden ülkeye değiştiği için belirsizlikler daha az, doğruluk oranı daha fazladır (Hünerli, 2023).

Tier 2 yaklaşımında genel olarak uygun emisyon faktörleri kullanılacak biçimde yakıt tüketim gruplarını ayırmak, Tier 3 yaklaşımında da yakıt tüketim değerlerinin dışında araçların yaptığı yol uzunluğu veya ton-km biriminde taşınan yük değeri gibi unsurlar ele alınarak bunlara göre emisyon faktörleri yardımıyla hesaplamalar yapılması amaçlanmaktadır. Bu metodlar ile Tier 1 metodunun arasındaki fark, yakıtın kullanıldığı yanma teknolojisi hakkında bilgi sahibi olunmasına gerek olmaksızın kolaylıkla elde edilen yakıt tüketim veya dağıtım değerleri kullanılarak işlemler yapılmasıdır (Atabay, 2015). Tier 3 yaklaşımında ise daha ayrıntılı çalışma yapılmaktadır. Araçların aldıkları yol uzunlukları, taşıdıkları yük miktarları hesaba katılır ve emisyon değerleri bulunarak hesaplamalar yapılır. Teknoloji değişkenleri emisyon değerlerini de değiştirmektedir (Hünerli; 2023). Bu hesaplamalarda tesise özgü olan parametrelerin belirlenebilmesi için ihtiyaç duyulan bazı spesifik bilgiler; yakıt türü, yanma teknolojisi, kontrol teknolojisi, bakım durumu, ekipman yaşları

## 3. SONUÇLAR

Bir kişinin, bir kuruluşun veya bir organizasyonun çevreye olan etkisini ölçmek için kullanılan önemli bir araç olan karbon ayak izi, emisyonların azaltılması için yapılacak adımları belirlemede kritik rol oynayan bir kavramdır.

Karbon ayak izi, iklim değişikliğiyle mücadele etmek amacıyla strateji geliştirmek, daha düşük sera gazı emisyonu yayarak iklim değişikliği üzerine olumlu etki yapmanın yanısıra yasal ve ticari gereksinimlerin karşılanması içinde şart olan bir husustur. Birçok ülke artık karbon ayak izinin raporlanmasını yasal bir zorunluluk haline getirmiştir. Bunların yanısıra tüketicilerin, iş ortaklarının sürdürülebilirlikle ilgili artan talebi karbon ayak izinin hem çevresel hem de iş stratejilerinin bir parçası olarak giderek daha önemli hale gelmesini sağlamaktadır.

Sonuç olarak karbon ayak izine gereken önem, çevresel sürdürülebilirlik, iklim değişikliği ile mücadele, yasal düzenlemelere uyum, ticari fırsatlar ve toplumsal beklentiler gibi birçok faktörü içeren ve bu nedenle bireysel, kurumsal ve hükümetler bazında azaltma çabalarına odaklanması gereken bir konudur.

## KAYNAKÇA

- Atabay, T. (2015). *Karbon Ayak İzinin Hesaplanması: Diyarbakır Örneği*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Dikbaş, F., Mezarciöz, S. (2019). *Tekstilde yaşam döngüsü analizi*, Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 38(3), 106-117.
- [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/7/graphic-carbon-dioxide-hits-new-high](https://climate.nasa.gov/climate_resources/7/graphic-carbon-dioxide-hits-new-high) (Erişimtarihi: 20.01.2024).
- Gökçek, B., Bozdağ, A., Demirbağ, H. (2019). *Niğde ömer halis demir üniversitesi karbon ayak izinin belirlenmesi*, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8 (2), 721-730.
- Gürsel, A.P., Meral, Ç. (2012). *Türkiye’de Çimento Üretiminin Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi*, 2. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi, 13 – 16 Eylül 2012 İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Urla-İzmir.
- Hünerli, E. (2023), *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi’nin karbon ayak izinin IPCC Tier 1 yaklaşımı ve Defra yöntemiyle hesabı*, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 99 sayfa.
- IPCC 1990. First Assessment Report, Workinggroup I: Scientific Assessment of Climate Change.<https://www.ipcc.ch/report/climate-change-the-ipcc-1990-and-1992-assessments/> (Erişimtarihi: 24.02.2024).
- IPCC,[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Full\\_Report.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf), (Erişim tarihi: 08.03.2024).
- Mirici, B., Berberoğlu, S. (2022). *Türkiye Perspektifinde Yeşil Mutabakat ve Karbon Ayak İzi: Tehdit Mi? Fırsat Mı?* Doğal Afet Çevre Dergisi, 8(1): 156-164.
- Mutlu, V. (2018), *Kauçuk endüstrisinde karbon ayak izinin belirlenmesi*, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi 43 s.
- Özsoy, C. (2015). *Düşük Karbon Ekonomisi ve Türkiye’nin Karbon Ayak İzi*. HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi © Cilt: 4, Yıl: 4, Sayı: 9
- Shine, K., Fuglestvedt J., Hailemariam K. andStuber N. (2005). *Alternatives to the Global Warming Potential For Comparing Climate Impacts of Emissions of Greenhouse Gases*. Climatic Change, 68(3), 281-302.
- Üreden, A., Özden, S., (2018). *Kurumsal Karbon Ayak İzi Nasıl Hesaplanır: Teorik Bir Çalışma*. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 4(2): 98-108.

# BÖLÜM 16

## **ISI VE KÜTLE TRANSFERİNİN MATEMATİK MODELLENMESİ VE SİMÜLASYONU\***

*Burak TÜRKAN<sup>1</sup>*



<sup>1</sup> Bursa Uludağ Üniversitesi, Gemlik Asım Kocabıyık MYO, Makine Programı, 16600, Gemlik, Bursa, Türkiye, ORCID 0000-0002-4019-7835  
burakt@uludag.edu.tr

\* Gözenekli Malzemelerde Eş Zamanlı Isı ve Kütle Transferinin Matematik Modellenmesi Yüksek Lisans Tezi, Tez Danışmanı: Prof. Dr. Akın Burak Etemoğlu, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uludağ Üniversitesi. (2014)

Kurutma işlemi raf ömrü uzun olması için özellikle gıda ürünlerinde yaygınlıkla kullanılmaktadır. Kurutma çalışmalarında kuruma üzerine etki eden parametrelerin etkisi sistemin tasarımı, ürün kalitesi ve enerji tasarrufu açısından önemlidir. Ayrıca kurutma konusunun karmaşık olmasından dolayı ürünün iç yapısının sıcaklık ve nem değişiminin de incelenmesi gerekmektedir. Deneysel yöntemler hem süre açısından hem de maliyet açısından oldukça zaman alıcı işlemlerdir. Ürünün prototipi üretilmeden önce test edilmesi gerekmektedir. Bunun için nümerik yaklaşım yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sayede ürün önceden test edilebilme ve herhangi bir sorun çıktığında çözülebilmektedir. Aynı zamanda sistem geliştirme işlemleri de kolaylıkla yapılabilmektedir. Bu bölümde ısı ve kütle transferi konusunda teorik ve nümerik yaklaşım verilmiştir. Ayrıca okuyuculara kolaylık olması açısından ısı ve kütle transferi denklemlerinin nümerik çözümü de adım adım Comsol programı üzerinden anlatılmıştır.

### **Isı ve Kütle Transferine Ait Matematiksel İfadeler**

Kurutma problemleri malzemenin nem içeriğine ve sıcaklığına bağlı olarak eş zamanlı ısı ve kütle transferi denklemleri yardımı ile ifade edilmektedir. Bu problemler ürünlerin termofiziksel özellikleri ve difüzyon katsayıları gibi birçok farklı katsayı içermektedir. Katı içerisindeki nem transferi difüzyon ile gerçekleşmektedir. Difüzyon, konsantrasyon farkından kaynaklanan moleküllerin çok yoğun ortamdaki az yoğun ortama hareketidir. Öncelikle kurutma konusunun daha iyi anlaşılabilmesi için matematik modelleme bilgilerine geçmeden önce temel ısı ve kütle transferi hakkında kısaca bilgi verelim.

### **Isı ve kütle transferinde kullanılan boyutsuz sayılar**

**Reynolds Sayısı:** Akışın karakterinin belirlenmesinde önemli bir boyutsuz sayıdır. Akışın türbülanslı veya laminar olduğunu belirtir. Akışta atalet kuvvetlerinin viskoz (sürtünme) kuvvetlere oranını gösteren ve akışkanlar mekaniğinde son derece önemli olan bu sayı şu şekilde gösterilir;

$$Re = \frac{uL}{\nu} \quad (1)$$

Burada akışkanın hızı  $u$ , karakteristik uzunluk  $L$  ve kinematik viskozite  $\nu$  ile gösterilmiştir.

**Prandtl Sayısı:** Isıl ve hız sınır tabaka içinde ısı ve momentum yayılımının bir ölçüsüdür ve şu şekilde ifade edilir.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} \quad (2)$$

Burada  $\alpha$  ısı yayılım katsayısıdır.

**Schmidt Sayısı:** Kütle transferinde  $Pr$  sayısı yerine kullanılır. Schmidt sayısı momentum difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı olarak aşağıdaki gibi tarif edilir;

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad (3)$$

Burada  $D_{AB}$  ikili kütle difüzyon katsayısıdır.

**Lewis Sayısı:** Kütle transferinde kullanılan bir diğer boyutsuz sayı ise Lewis sayısıdır. Burada ısı difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı tarif edilir ve şu şekilde gösterilir;

$$Le = \frac{\alpha}{D_{AB}} = \frac{Sc}{Pr} \quad (4)$$

**Nusselt sayısı:** Taşınım ile ısı transferinde önemli bir boyutsuz sayıdır. Bu boyutsuz sayı yüzeyde taşınım ile ısı geçişinin bir ölçüsüdür. Taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$Nu = \frac{hL}{k} \quad (5)$$

Burada ısı taşınım katsayısı  $h$ , Nusselt sayısı  $Nu$ , karakteristik uzunluk  $L$ , akışkanın ısı iletim katsayısı  $k$  olarak ifade edilir.

**Sherwood sayısı:** Kütle transferinde Nusselt yerine Sherwood sayısı kullanılır. Bu parametre yüzeydeki boyutsuz konsantrasyon basamağı olarak tarif edilir ve yüzeyde meydana gelen taşınım ile kütle transferinin miktarının belirlenmesi için çok önemli bir parametredir.

$$Sh = \frac{h_m L}{D_{AB}} \quad (6)$$

Burada kütle taşınım katsayısı  $h_m$  ile gösterilmiştir.

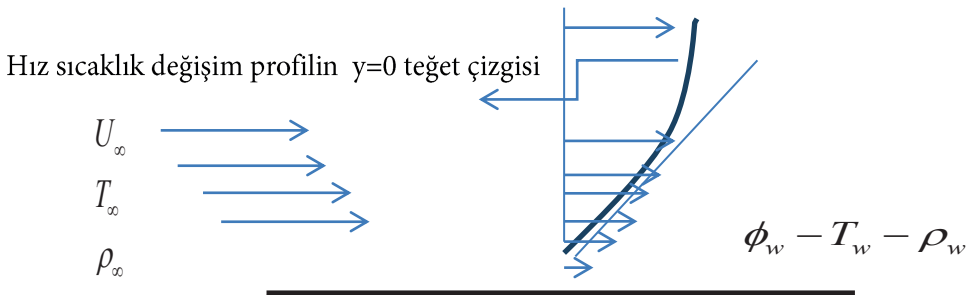
Ürün etrafındaki sıcaklık alanı belirlendikten sonra ısı taşınım katsayısı ;

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^n \quad (7)$$

bağıntısı kullanılarak elde edilmiştir. Burada akışkanın ısıtılmasında  $n=0.4$  ve soğutulmasında  $n=0.3$  alınır (Çengel 2011).

### Isı ve Kütle Transferi Arasındaki Benzeşim

Belli uzunluktaki bir plaka üzerinde akış göz önüne alınarak yüzeyde ısı ve kütle dengesi şartları yazılacak olursa;



Şekil 1. Bir yüzey üzerindeki akış karakteristiği (Çengel 2011)



$$q = -k \frac{\partial T}{\partial x} = h(T_{\infty} - T_w) \quad (8)$$

$$m_b = -D_{AB} \frac{\partial \rho}{\partial x} = h_m(\rho_w - \rho_{\infty}) \quad (9)$$

Burada Fourier ısı iletim kanunu ile Fick yayılım kanununun benzerlik gösterdiği görülmektedir. Burada  $h$  ısı taşınım katsayısı ( $W/m^2K$ ),  $D_{AB}$  difüzyon katsayısı ( $m^2/s$ ),  $h_m$  taşınım ile kütle transfer katsayısı ( $m/s$ ),  $T_{\infty}$  ve  $T_w$  çevre sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı ( $K$ ),  $\rho_w$  ve  $\rho_{\infty}$  yüzey ve havadaki su buharının konsantrasyonu ( $kg/m^3$ ). Aynı şekilde kütle taşınım hızı  $M_b$  ( $kg/s$ ) aşağıda gösterildiği gibi Newton'unu soğuma kanununa benzer şekilde bulunur.

$$Q = hA(T_{\infty} - T_w) \quad (10)$$

$$M_b = h_m A(\rho_w - \rho_{\infty}) \quad (11)$$

Burada konsantrasyon farkını bulmak için mükemmel gaz denklemi yazılarak yoğunluk hem yüzey ve hava için aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\rho_w = \frac{P_{bw}}{R_b T_w} \quad (12)$$

$$\rho_{\infty} = \frac{P_{b\infty}}{R_b T_{\infty}} \quad (13)$$

Burada  $R_b$  gaz buhar sabiti ( $kJ/kgK$ ),  $P_{bw}$  ve  $P_{b\infty}$  yüzeydeki havanın ve ortamdaki havanın kısmi basıncı. Bu ifadeleri bulmak için sıcaklığa ( $T_w - P_{atw}; T_{\infty} - P_{at\infty}$ ) karşılık gelen doyma basınçları tablodan okunarak bağıl nem ile aşağıdaki gibi çarpılır.

$$\phi_w = \frac{P_{bw}}{P_{dtw}} \quad (14)$$

$$\phi_\infty = \frac{P_{b\infty}}{P_{dt\infty}} \quad (15)$$

Elde edilen ifadeler 11 nolu ifadede yerine yazılırsa;

$$M_b = h_m A (\rho_w - \rho_\infty) = h_m A \left( \frac{P_{bw}}{R_b T_w} - \frac{P_{b\infty}}{R_b T_\infty} \right) \quad (16)$$

Elde edilir. Aynı zamanda konsantrasyon farkını molar olarak da ifade edebiliriz;

$$M = h_m A (C_w - C_\infty) \quad (17)$$

Burada M mol kütlesi (kg/kmol), C molar konsantrasyon (kmol/m<sup>3</sup>)

Eğer iki veya daha fazla fiziksel olgu aynı biçimdeki boyutsuz eşitliklerle gösterilebiliyorsa, bu olgular arasında benzeşim olduğu söylenebilir. Sınır tabaka fonksiyon denklemlerinde benzeşmeler olduğu için ısı ve kütle transferi analogisi her iki taşınım katsayısını ilişkilendirmek için kullanılır. Isı ve kütle transferi benzeşimi boyutsuz sayılar ile ifade edilir. Burada Nu ve Sh boyutsuz sayıları benzeşim göstermektedir. Boyutsuz ısı ve kütle transferi aşağıdaki gibi yazılmaktadır.

$$Sh = C Re^a S c^b = \frac{h_m L}{D_{AB}} \quad (18)$$

$$Nu = C Re^a Pr^b = \frac{hL}{k} \quad (19)$$

Burada  $C$ ,  $a$  ve  $b$  katsayıları uygulama alanına göre değişiklik gösteren sabit değerlerdir. Bu iki denklem:

$$\frac{Sh}{Sc^b} = \frac{Nu}{Pr^b} \quad (20)$$

Şekildeki gibi yazılabilir. Daha önce elde edilen  $Sh$  ve  $Nu$  ifadeleri yerine yazılırsa;

$$\frac{hL/k}{Pr^b} = \frac{h_m L/D_{AB}}{Sc^b} \quad (21)$$

Elde edilir. Daha önce ifade edilen denklem 4, bu ifadede yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \frac{h}{h_m} &= \frac{k}{D_{AB} Le^b} \\ &= \rho c_p Le^{1-b} \end{aligned} \quad (22)$$

Elde edilir. Bu ifade ısı ve kütle transferi katsayıları arasındaki bağıntıyı vermektedir. Burada uygulamaların birçoğunda  $b=1/3$  alınmaktadır (Incropera 2001).

### Isı Transfer Teorisi

Isı iletim probleminde amaç istenen ortamda sınır şartlarına bağlı olarak sıcaklığın nasıl değiştiğini gözlemlemektir. Sıcaklık dağılımı Fourier ısı iletimi yasasından bulunur. İçerisinde kütle hareket olmayan  $T(x,y,z)$  sıcaklık dağılımı Kartezyen koordinatlarda ifade edilsin. Sonsuz küçük kontrol hacmi tanımlansın  $dx, dy, dz$  olarak. Ele alınan kontrol hacim elemanında yüzeylerin birbirine dik ısı iletimleri sırası ile  $q_x, q_y$ , ve  $q_z$  olarak gösterilir. Karşı yüzeylerdeki ısı iletimi ise Taylor seri açılımı ile ;

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx \quad (23)$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy \quad (24)$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz \quad (25)$$

Kontrol hacminden çıkan ısı iletimi ifadesinde  $x+d_x$   $x$  deki değer ile  $dx$  kalınlığındaki değişimin toplamıdır.

Ortam içerisinde üretilen ısı enerjisi miktarı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$E_g = \dot{q} dx dy dz \quad (26)$$

$\dot{q}$  burada birim zamanda birim hacimde üretilen ısı miktarı ( $W/m^3$ ) olarak yazılır. Kontrol hacminde depolanan ısı enerjisi ise ;

$$E_d = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (27)$$

olarak yazılabilir. Burada  $\rho$  yoğunluk ( $kg/m^3$ ),  $c_p$  özgül ısı ( $kJ/kgK$ ) olarak ifade edilmektedir.

Termodinamiğin 1.kanununa göre kontrol hacim elemanındaki enerji dengesi:

Giren ısı enerjisi + Üretilen ısı enerjisi = Çıkan ısı enerjisi + Depo edilen ısı enerjisi

$$q_x + q_y + q_z + \dot{q} dx dy dz = q_{x+dx} + q_{y+dy} + q_{z+dz} + \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (28)$$

olarak yazılır.

$$\dot{q} dx dy dz = \frac{\partial q_x}{\partial x} dx + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz \quad (29)$$

Aşağıda verilen her bir ısı akısı bileşeni denklemden yerine konulup  $dx dy dz$  kontrol hacmine bölünür.

$$q_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x} \quad (30)$$

$$q_y = -k dx dz \frac{\partial T}{\partial y} \quad (31)$$

$$q_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z} \quad (32)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} \quad (33)$$

Isı yayılım denkleminin kartezyen koordinatlardaki en genel hali bu şekildedir. Denklem yeniden düzenlenirse aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (34)$$

Silindirik koordinat sistemi için en genel ısı transferi denklemi şu şekildedir;

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{\dot{q}}{k} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (35)$$

Küresel koordinat sistemi için en genel ısı transferi denklemi şu şekildedir;

$$\begin{aligned} \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\partial T}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial T}{\partial \theta} \right) + \frac{\dot{q}}{k} \\ = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \end{aligned} \quad (36)$$

### Kütle Transfer (Difüzyon) Teorisi

Kütle transferi denklemini elde etmek için ısı transferi denklemini bulmada kullanılan benzer yöntem kullanılacaktır. A ve B gibi ikili karışım halinde

olan düzgün dağılımlı, molekül ortalama hızı her yerde sıfır olup, kütle geçişinin sadece yayılımla olduğu kabul edilmektedir. Bu denklem sayesinde ortamın herhangi bir yerindeki nem dağılımı bulunmaktadır. Burada ısı transferi denklemlerinden farklı olarak Fick yasası kullanılmaktadır (Incropera 2001).

x,y ve z koordinatları boyunca derişik gradyanlarının olduğu dx,dy ve dz kontrol hacmi ele alınsın. Derişiklik farkı nedeniyle A bileşeninin yüzeylerinden yayılımla kütle geçişi olacaktır. Kontrol hacmine giren ve çıkan kütsel akılar sırası ile,  $n''_{A,x}$ ,  $n''_{A,y}$ ,  $n''_{A,z}$  ve  $n''_{A+dx}$ ,  $n''_{A+dy}$  ve  $n''_{A+dz}$  olarak ifade edilmektedir. Burada Taylor seri açılımı aşağıdaki gibi kütsel akılara uygulanmaktadır.

$$n''_{A,x+dx} dydz = n''_{A,x} dydz + \frac{\partial(n''_{A,x} dydz)}{\partial x} dx \quad (37)$$

$$n''_{A,y+dy} dx dz = n''_{A,y} dx dz + \frac{\partial(n''_{A,y} dx dz)}{\partial y} dy \quad (38)$$

$$n''_{A,z+dz} dx dy = n''_{A,z} dx dy + \frac{\partial(n''_{A,z} dx dy)}{\partial z} dz \quad (39)$$

Ortam içerisinde ayrıca kimyasal reaksiyon olduğu kabul edilip oluşan A bileşeni ise;

$$\dot{M}_{A,u} = \dot{n}_A dx dy dz \quad (40)$$

Olarak yazılmaktadır. Burada  $\dot{n}_A$  (kg/sm<sup>3</sup>) karışımın birim hacminde birim zamanda A bileşeninin kütsesindeki artışıdır. Kontrol hacmi içerisinde depolanan A bileşeninin kütsesi ise;

$$\dot{M}_{A,d} = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} dx dy dz \quad (41)$$

şeklinde yazılır.

Bir kontrol hacmine giren ve çıkan kütle akılarının farkı, kontrol hacmindeki bu bileşenin kütlelesinin zamana göre değişimine eşittir.

Kontrol hacmine giren kütle akısı+Kontrol hacminde oluşan kütle akısı-  
Kontrol hacminden çıkan kütle akıları=Kontrol hacmi içerisinde depolanan  
kütle akısı

$$\begin{aligned} & n''_{A,x} dydz + n''_{A,y} dx dz + n''_{A,z} dx dy + \dot{n}_A dx dy dz \\ & - n''_{A,x} dydz - \frac{\partial(n''_{A,x} dydz)}{\partial x} dx - n''_{A,y} dx dz - \frac{\partial(n''_{A,y} dx dz)}{\partial y} dy \\ & - n''_{A,y} dx dy - \frac{\partial(n''_{A,z} dx dy)}{\partial z} dz = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} dx dy dz \end{aligned} \quad (42)$$

Elde edilen bu ifade kontrol hacmine bölünüp (dx dy dz) sadeleştirilirse aşağıdaki ifade elde edilir.

$$-\frac{\partial n''_{A,x}}{\partial x} - \frac{\partial n''_{A,y}}{\partial y} - \frac{\partial n''_{A,z}}{\partial z} + \dot{n}_A = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad (43)$$

2 farklı ortamdaki karışımın ortalama hızına göre A bileşeninin hareketini kütlelesel olarak ifade etmek için;

$$n''_A = j_A + \rho_A v \quad (44)$$

eşitliği kullanılmaktadır. Burada  $n''_A$  A bileşeni dik birim alandan geçen mutlak kütle akısını gösterirken,  $j_A$  (kg/s.m<sup>2</sup>) bu bileşenin bağıl veya yayılım akısını göstermektedir. Moleküler olarak ifade etmek için ise aynı denklem aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$N_A = j_A^* + C_A v \quad (45)$$

Burada  $N_A$  (kmol/s.m<sup>2</sup>) molekülseel ortalama hızına göre mutlak mol akısıdır.  $j_A^*$  (kmol/s.m<sup>2</sup>) ise molekülseel ortalama hızına göre yayılım mol akısıdır.  $C_A$  (kmol/m<sup>3</sup>) ise molekülseel derişiklidir.

Durgun ortam için hız sıfır olduğundan  $n''_A = j_A$  ve  $N_A = j_A^*$  olmaktadır. Fick yasası vektörel olarak her bir koordinat için;

$$j_{A,x} = -\rho D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial x} \quad (46)$$

$$j_{A,y} = -\rho D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial y} \quad (47)$$

$$j_{A,z} = -\rho D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial z} \quad (48)$$

Olarak yazılmaktadır. Burada karışımın yoğunluğu  $\rho = \rho_A + \rho_B$  (kg/m<sup>3</sup>) ,  $m_A$  bileşenin kütleseel oranı  $\rho_A/\rho$  gradyanı ile doğru orantılıdır.  $D_{AB}$  (m<sup>2</sup>/s) ikili karışımlarda kütleseel difüzyon veya yayılım katsayısı olarak ifade edilir. Fick yasası aynı zamanda aşağıdaki gibi molar olarak da ifade edilir.

$$j_{A,x}^* = -CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial x} \quad (49)$$

$$j_{A,y}^* = -CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial y} \quad (50)$$

$$j_{A,z}^* = -CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial z} \quad (51)$$

Burada  $x_A$  molekülseel kütle oranı  $C_A/C$  gradyanı ile orantılıdır. Karışımın toplam molekülseel derişikliği ise  $C=C_A+C_B$  (kmol/m<sup>3</sup>) olarak yazılabilir.

46, 47 ve 48 nolu ifadeler 43 denkleminde yerine yazılırsa,

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \rho D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \rho D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \rho D_{AB} \frac{\partial m_A}{\partial z} \right) + \dot{n}_A = \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad (52)$$



Şekline gelir. 49, 50 ve 51 nolu denklemler 43 nolu genel denklemde yerine yazılırsa molar olarak ;

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial y} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( CD_{AB} \frac{\partial x_A}{\partial z} \right) + \dot{N}_A = \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (53)$$

İfade elde edilir. 52 nolu denklemde  $D_{AB}$  yayılım katsayısı ve  $\rho$  yoğunluğu sabit ise denklem;

$$\frac{\partial^2 \rho_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \rho_A}{\partial z^2} + \frac{\dot{n}_A}{D_{AB}} = \frac{1}{D_{AB}} \frac{\partial \rho_A}{\partial t} \quad (54)$$

Şeklinde yazılmaktadır. 53 nolu denklemde  $D_{AB}$  yayılım katsayısı ve C toplam derişikliği sabit ise, denklem;

$$\frac{\partial^2 C_A}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_A}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 C_A}{\partial z^2} + \frac{\dot{N}_A}{D_{AB}} = \frac{1}{D_{AB}} \frac{\partial C_A}{\partial t} \quad (55)$$

Eşitlik yeniden düzenlenirse aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} + \frac{N_A}{D_{AB}} = \frac{1}{D_{AB}} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (56)$$

Silindirik koordinat sistemi için en genel ısı transferi denklemi şu şekildedir;

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\partial C}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \frac{N_A}{D_{AB}} = \frac{1}{D_{AB}} \frac{\partial C}{\partial t} \quad (57)$$

Küresel koordinat sistemi için en genel ısı transferi denklemi şu şekildedir;

$$\begin{aligned} & \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left( r^2 \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2 \sin^2 \theta} \frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\partial C}{\partial \varphi} \right) + \frac{1}{r^2 \sin \theta} \frac{\partial}{\partial \theta} \left( \sin \theta \frac{\partial C}{\partial \theta} \right) + \frac{N_A}{D_{AB}} \\ & = \frac{1}{D_{AB}} \frac{\partial C}{\partial t} \end{aligned} \quad (58)$$

## Simülasyon Programı Hakkında Kısaca Bilgi

Kurutma işleminde, kurutma süreci ve ekipmanların matematik modelinin oluşturulması uygun kurutma havası koşullarının elde edilmesi, kurutucu boyutu, kurutucu bölgesinin akışa göre konumlandırılması bakımından önemlidir. Modellemede asıl amaç hem kurutucudaki hem de ürün içerisindeki nem ve sıcaklık dağılımlarını gösteren ifadelerin doğru olarak oluşturulmasıdır. Bu bölümde kullanılan Comsol programı hakkında kısaca bilgi verilmiştir.

*Comsol Programı*, kısmi diferansiyel denklemlerin (matematiksel modellerin) çözümüne dayalı mühendislik ve bilimsel modellerin oluşturulması ve çözümünde kullanılan multifizik ve sonlu eleman (FEM) analizidir. Comsol programına PDE (Partial Differential Equation) tanımı yapılarak tüm model için istenen çözümler yapılabilir. Çözülecek problemin geometrisi, sınır şartları, materyal özellikleri ve değişkenleri yazılarak program aracılığı ile gerekli meshleme yapıp çözümlere sonuçlar grafik şeklinde elde edilmektedir. Eğer mühendislik problemi için PDE denklemi elde edilmiş ise bunun programa girilerek değişkenlerinin tanımlanması ile çözüm yapılabilmektedir (Comsol Multiphysics 5.3 2017).

### Comsol programı uygulama alanları;

- Kimyasal reaksiyonlar
- Difüzyon
- Akışkanlar dinamiği
- Elektrokimya
- Akustik
- Elektromanyetik
- Jeofizik
- Isı transferi
- Mikroelektromekanik
- Mikrodalga mühendisliği
- Optik
- Yapı mekanikleri

- Kuantum mekaniği

gibi birçok alanda kullanımı mümkündür.

Cosol programı uygulama alanları, Cosol programında bulunan 8 ana modül ile sağlanır.

1. AC/DC Modülü
2. Akustik modülü
3. Kimyasal mühendislik modülü
4. Dünya (Earth) bilim modülü
5. MEMS modülü
6. RF Modülü
7. Yapı mekaniği modülü
8. Isı Transfer Modülü

Cosol programında modelleme süreci 6 ana adımdan oluşmaktadır:

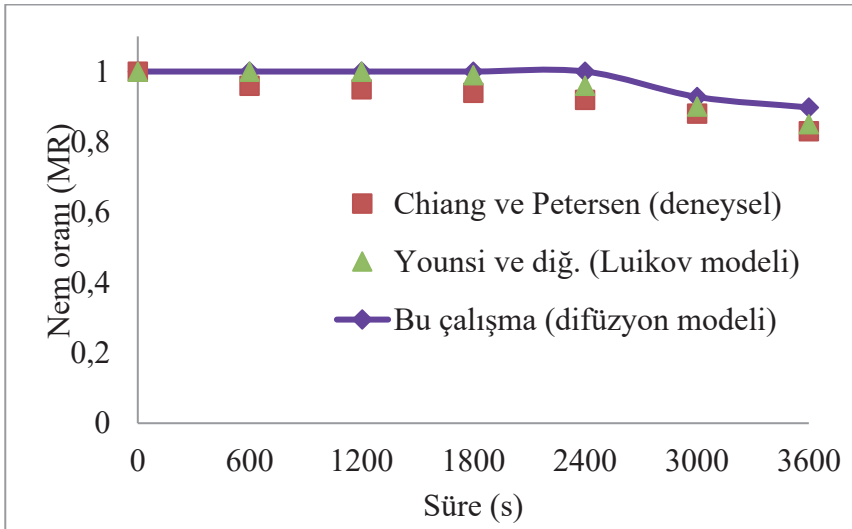
1. Model seçeneği modülünden uygulanmak istenen uygun model seçilir.
2. Model geometrisi çizim modülünden oluşturulur.
3. Fiziksel model için varsa PDE denklemi girilir yoksa hazır olan denklemler seçilerek sınır ve başlangıç şartları ile materyal özellikleri tanımlanır.
4. “Mesh” modülünden istenen ağ yapısı seçilir.
5. Çözüm modülünden istenen şartlarda çözüm gerçekleştirilir.
6. Sonuç kısmında elde edilen grafik ve sonuçlar incelenir.

### **Cosol Programında Isı ve Kütle Transferi Çalışmasının Modellenmesi**

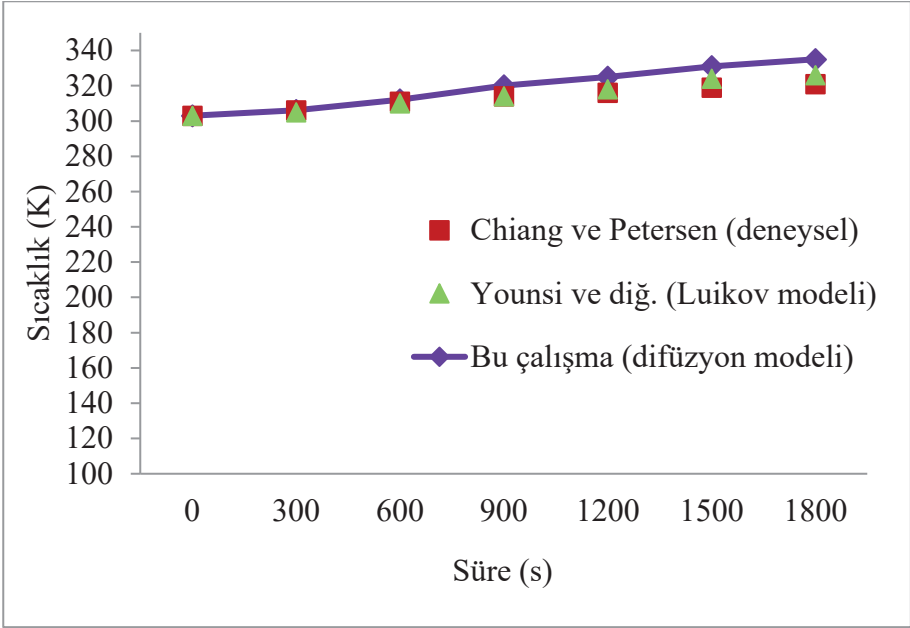
Bu bölümde literatürde yapılmış olan deneysel (Chiang ve Petersen 1987) ve nümerik (Younsi ve ark. 2006) çalışmalara ait sonuçlar, Cosol programında difüzyon denklemleri çözülerek karşılaştırılmıştır (Turkan ve ark. 2018).

Çizelge 1. Karşılaştırılması yapılan elma malzemesinin ve havanın termofiziksel özellikleri (Younsi ve ark. 2006)

Parametre (Birimi)	Değeri
Ürün boyutları (cm)	4.9*4.8*2
Malzemenin yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	856
Havanın sıcaklığı (K)	354
Ürünün başlangıç sıcaklığı (K)	303
Malzemenin nem içeriği (%)	87
Havanın nem içeriği (%)	12
Isı iletim katsayısı (W/mK)	0.577
Molar buharlaşma ısısı (J/kg)	0.25×10 <sup>7</sup>
Özgül ısı (J/kgK)	4201.4
Nem kapasitesi(kg/kg)	0.01
Nem iletkenliği(kg/ms)	2.2×10 <sup>-8</sup>
Isı taşınım katsayısı(W/m <sup>2</sup> K)	25
Kütle transfer katsayısı(kg/m <sup>2</sup> s)	0.0001
Su molekül ağırlığı(gr/mol)	18



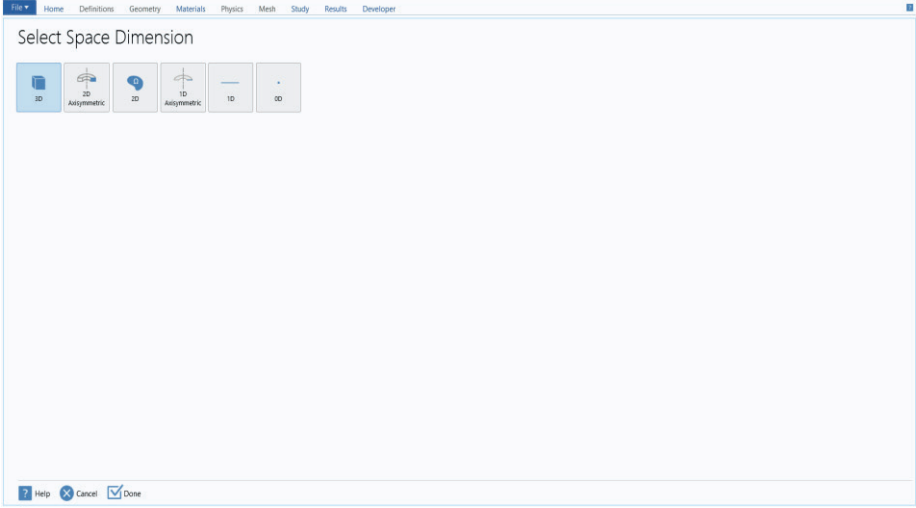
Şekil 2. Ürün merkezinin nem değişiminin karşılaştırılması



Şekil 3. Ürün merkezinin sıcaklık değişiminin karşılaştırılması

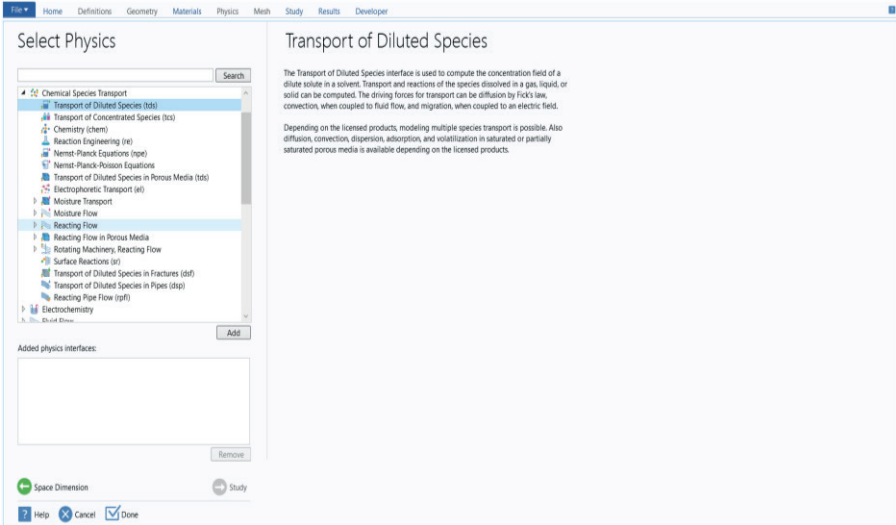
#### 14 Adımda Simülasyon Uygulaması;

1.Öncelikle program açılışında ara yüzünde hangi boyutta çalışılmak istendiği sorulmaktadır. Biz 3 boyutlu modelleme yapacağımız için 3D kısmını seçtik.

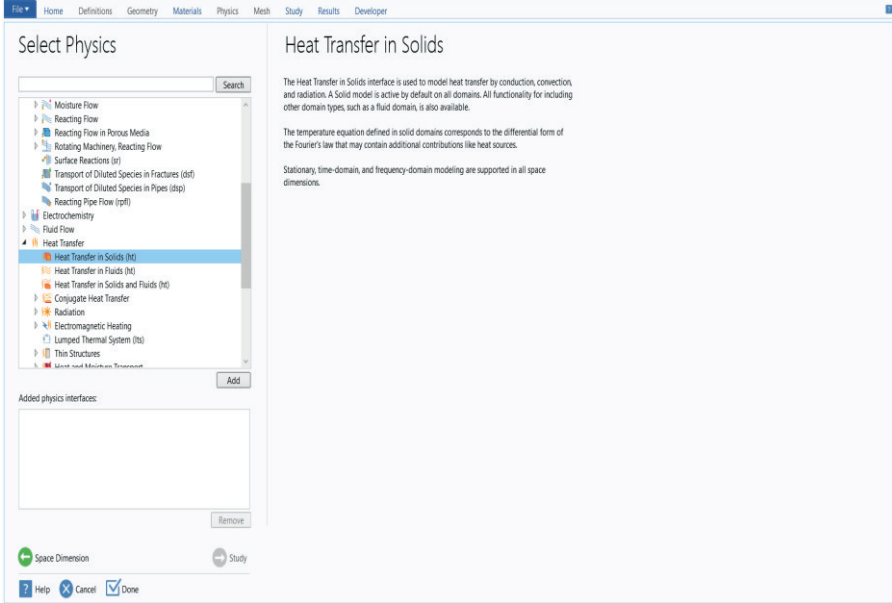


Şekil 4. Comsol programının ara yüzü

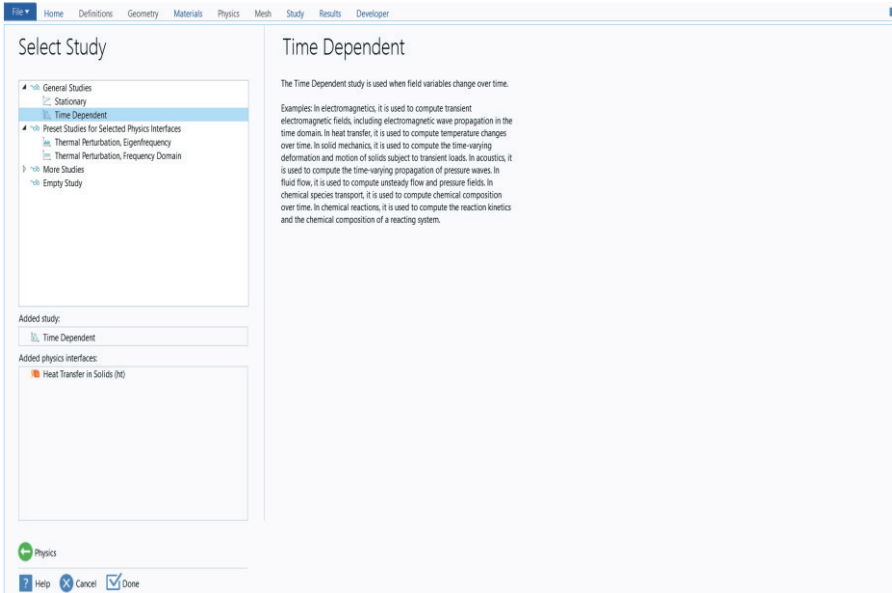
2. Daha sonra hangi denklemlerin çözüleceği sayfa ekranı karşımıza gelecektir. Burada kütle transferi için “Transport of Diluted Species” ve ısı transferi için ise “Heat Transfer in Solid” modülleri eklenir. Daha sonra “Study” kısmı ile devam edilerek çalışmanın zamana bağlı (“time dependent”) mı yoksa sürekli rejimde (“stationary”) mi olduğu seçilir.



Şekil 5. Programda çalışılacak konu başlıkları ara yüzü



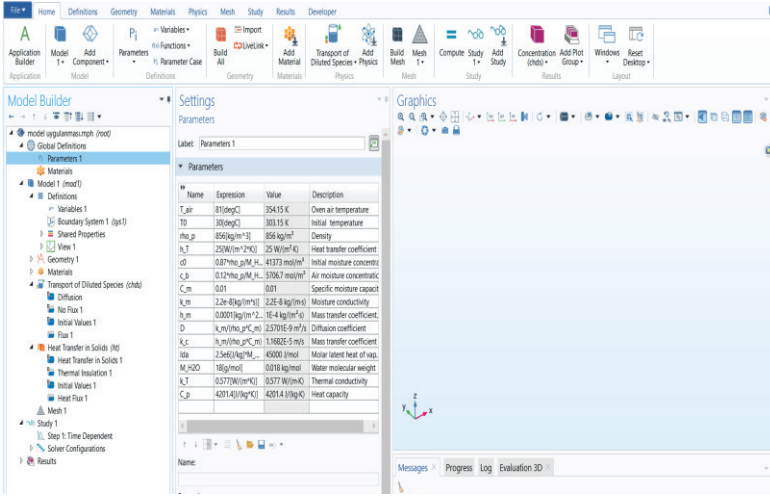
Şekil 6. Programda çalışılacak konu başlıkları ara yüzü



Şekil 7. Programda çalışmanın süreye bağlı olup olmadığının seçim ekranı

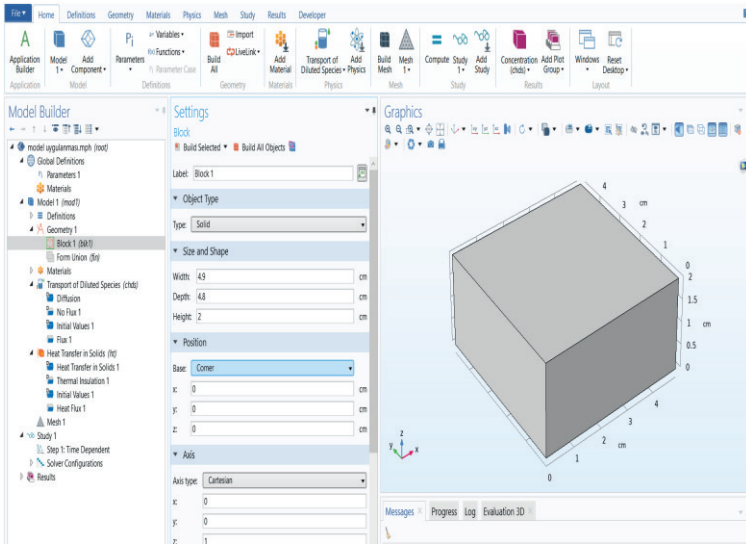
3. Karşımıza model sayfası açılır, Burada öncelikle “Global Definitions” kısmından ürüne ait termofiziksel özellikler girilir. Değişken özellikler

(süreye, sıcaklığa vs.) var ise “Definitions” kısmı altında bulunan “Variables” modülünden eklenebilir.



Şekil 8. Programda parametre değerlerinin giriş ekran ara yüzü

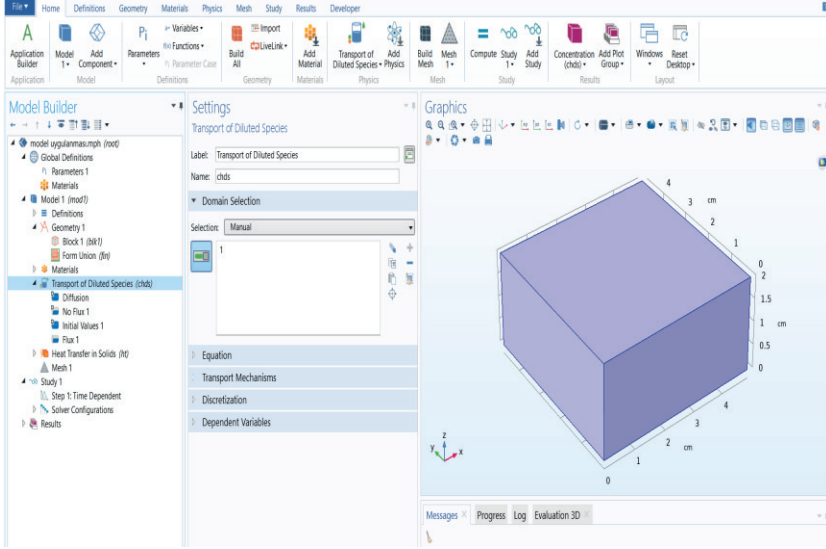
4. Model geometrimizi oluşturmak için solda bulunan menüde “Model” kısmının altında “Geometry” modülünden ürün boyutlarını yazarak elde edebiliriz.



Şekil 9. Programda geometri oluşturma ekranı

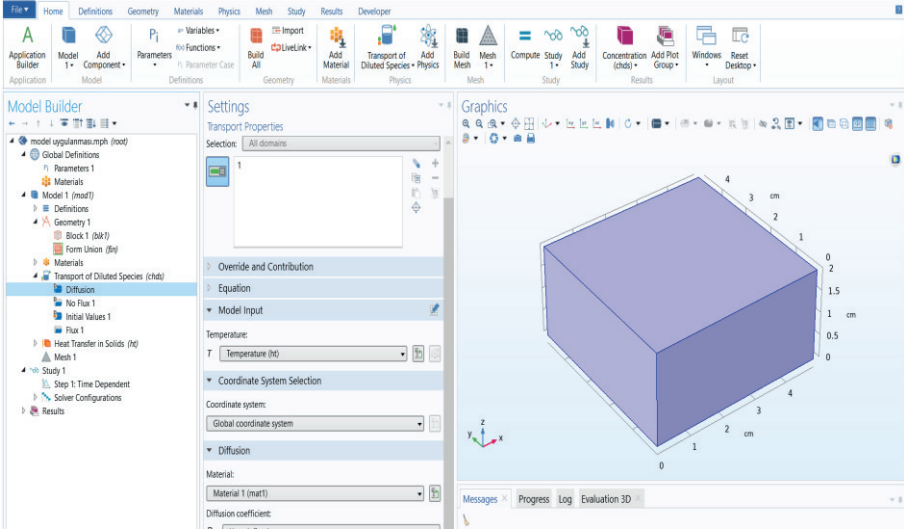


5. Kütle transferi denklemlerini tanımlamak için “Transport of Diluted Species” modülü seçilerek öncelikle sağda yazan “Domain Selection” kısmından model seçilir.

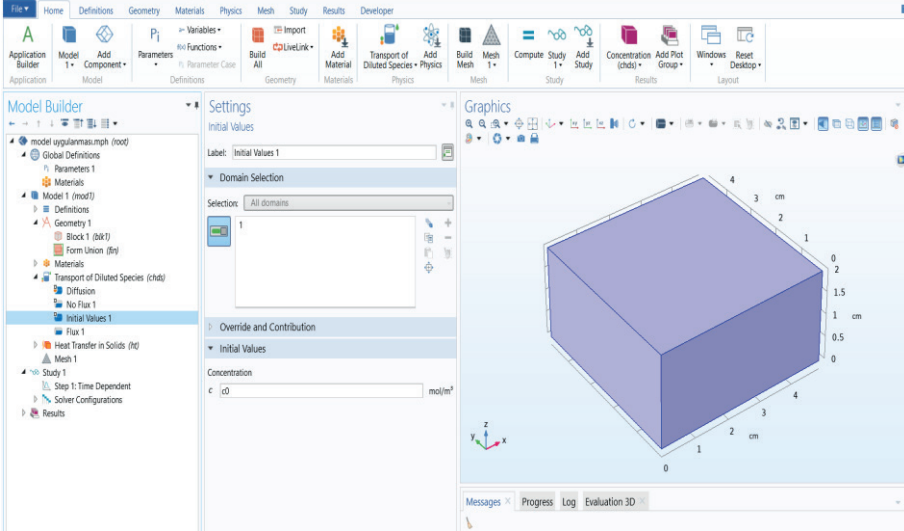


Şekil 10. Programda kütle transferi başlığı

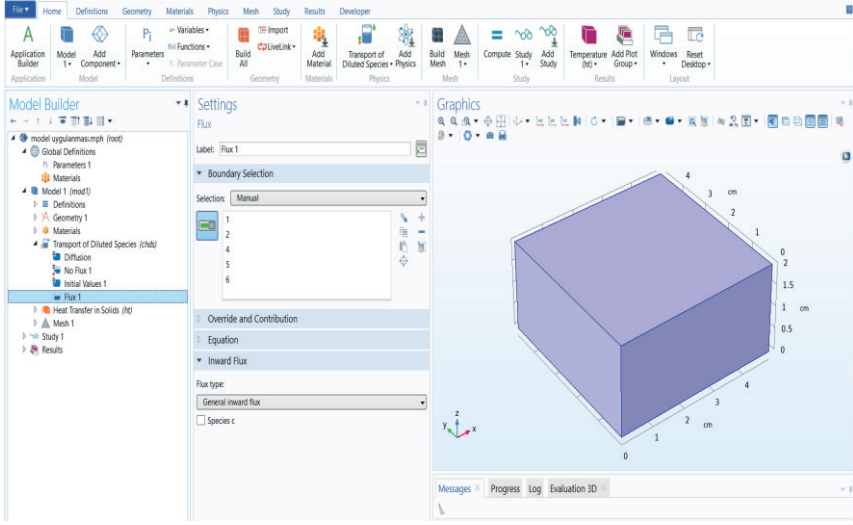
6. Difüzyon kısmı açılarak öncelikle sıcaklık yazan kısımdan “Temperature ht” seçilir ve ürünün difüzyon katsayısı değeri yazan kısma “Diffusion coefficient” “D” yazılır.



Şekil 11. Programda kütle transferi başlığı altında difüzyon kısmı seçenekleri  
7.Kütle transferi için başlangıç sınır şartı için “Initial Values” kısmından  
“Concentration” kısmına  $c_0$  yazılır.

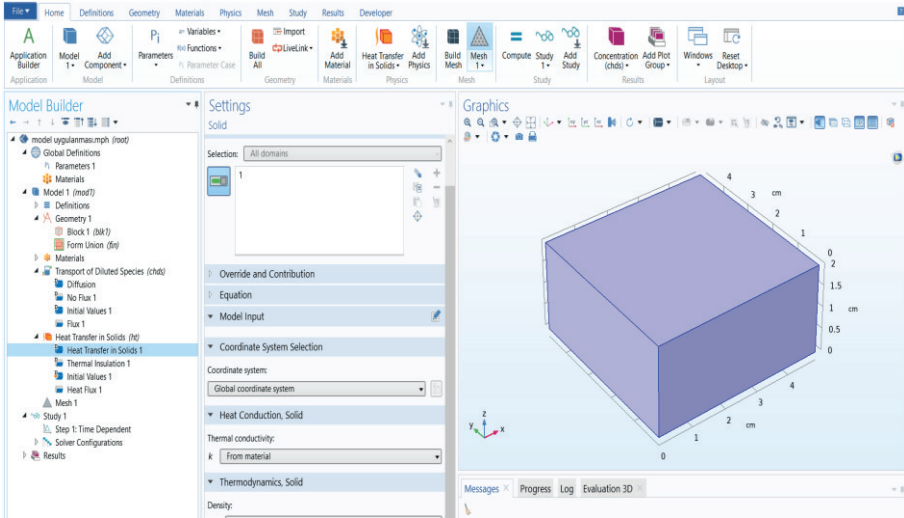


Şekil 12. Programda kütle transferi başlığı altında başlangıç değeri kısmı  
8.Daha sonra “Flux” kısmından üründen havaya kütle transferinin  
gerçekleşeceği yüzeyler seçilir.



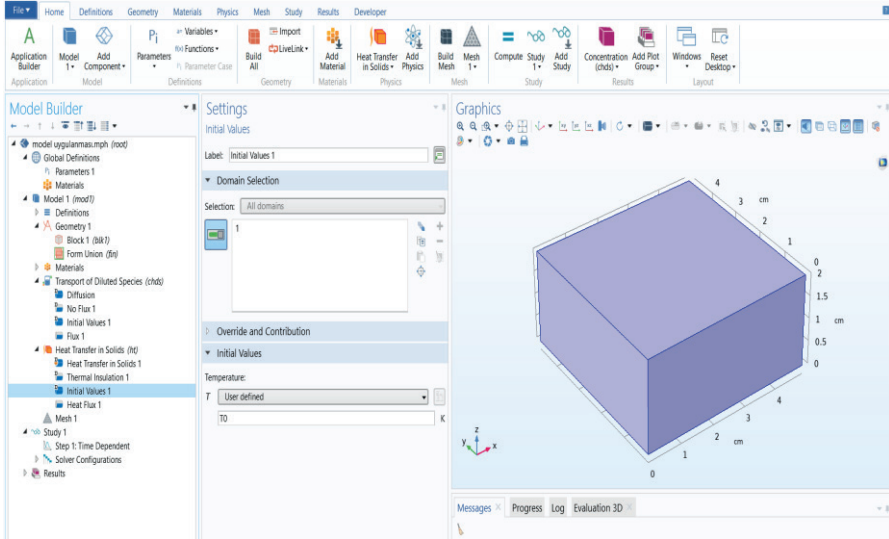
Şekil 13. Programda kütle transferi başlığı altında kütle transfer yüzey alanları seçim ekranı

9. Öncelikle ana başlık “Heat Transfer in Solid” yazan kısım açılır. “Domain Selection” kısmından model seçilir. Hemen altında “Heat transfer in Solid” kısmı açılarak, orada bulunan termofiziksel özellikler için “From Material” seçeneği seçilir.



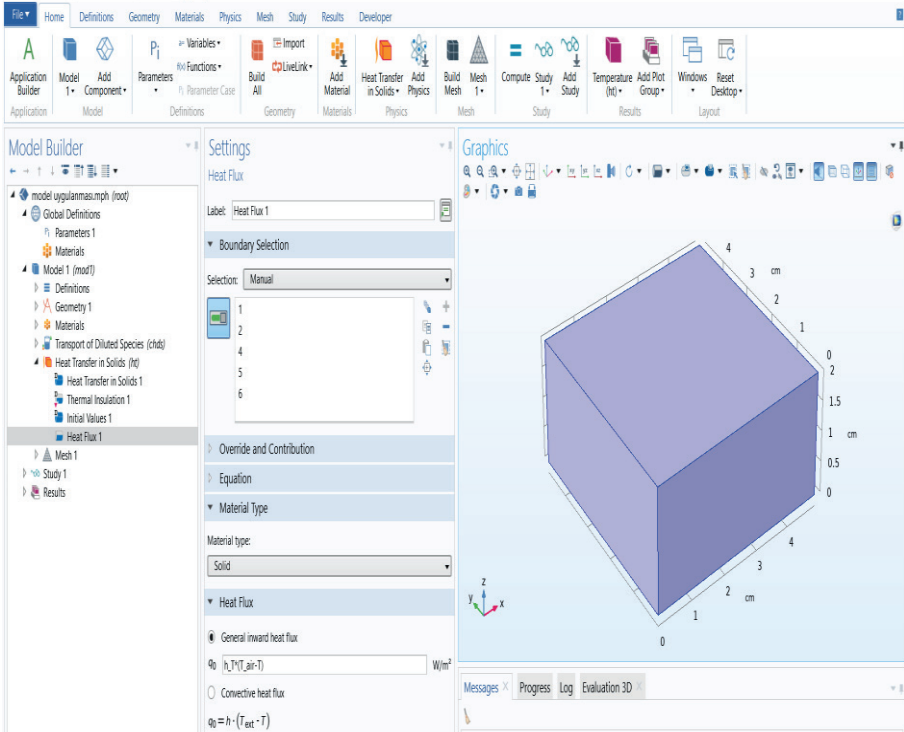
Şekil 14. Programda ısı transferi başlığı ara yüzü

10. Daha sonra ısı transferi başlangıç sınır şartı için “Initial Values” seçilir. Burada “Temperature” kısmına  $T_0$  yazılır.



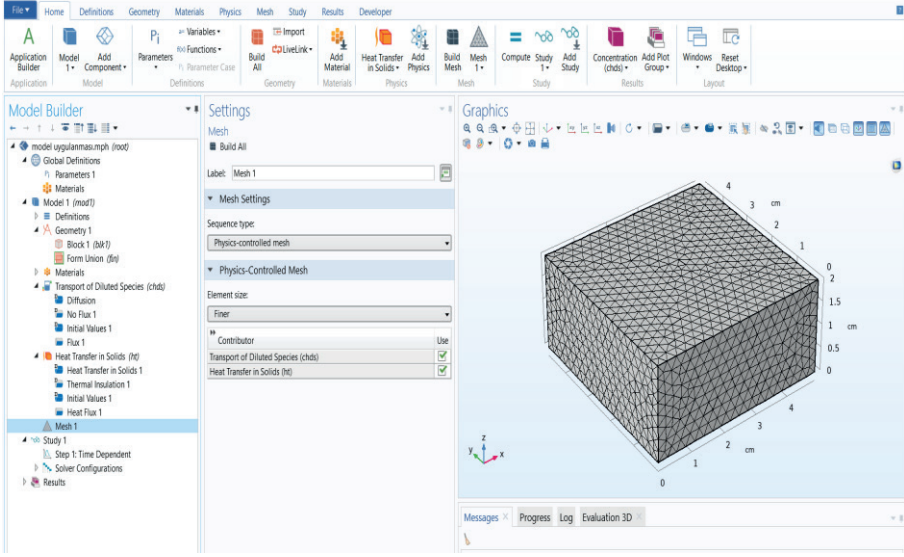
Şekil 15. Programda ısı transferi başlığı altında başlangıç değeri kısmı

11. Katıda ısı akısının gerçekleşeceği yüzeyleri seçmek için “Heat Flux” seçeneği seçilir. Burada “Heat Flux” kısmından “General Inward Heat Flux” seçilir.  $q_0$  yazan kısma “ $h_{T^*}(T_{air}-T)$ ” taşıyıcıyla sınır şartı yazılır. Material tipi “Solid” seçilir.



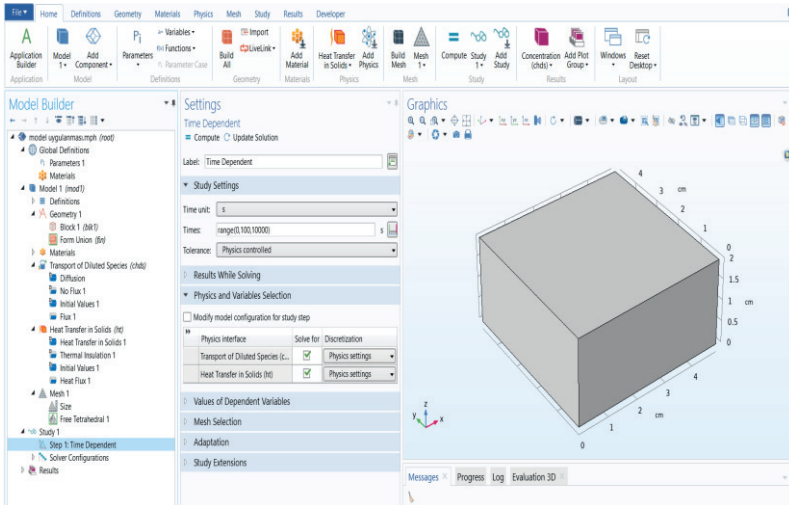
Şekil 16. Programda ısı transferi başlığı altında ısı transfer yüzey alanları seçim ekranı

12. Daha sonra ürünü ağ yapısına bölmek için “Mesh” modülü açılır. Burada programda hazır olan Ağ yapısı özellikleri “Element Size” kısmından seçilebileceği gibi, “Sequence Type” kısmından “User Controlled Mesh” seçilerek kendi sayısal değerimize göre de ağ yapısına bölmeniz mümkün. Ayrıca çalışmanızın sonuçlarının ağdan bağımsız olmasına da dikkat etmeniz gerekmektedir.



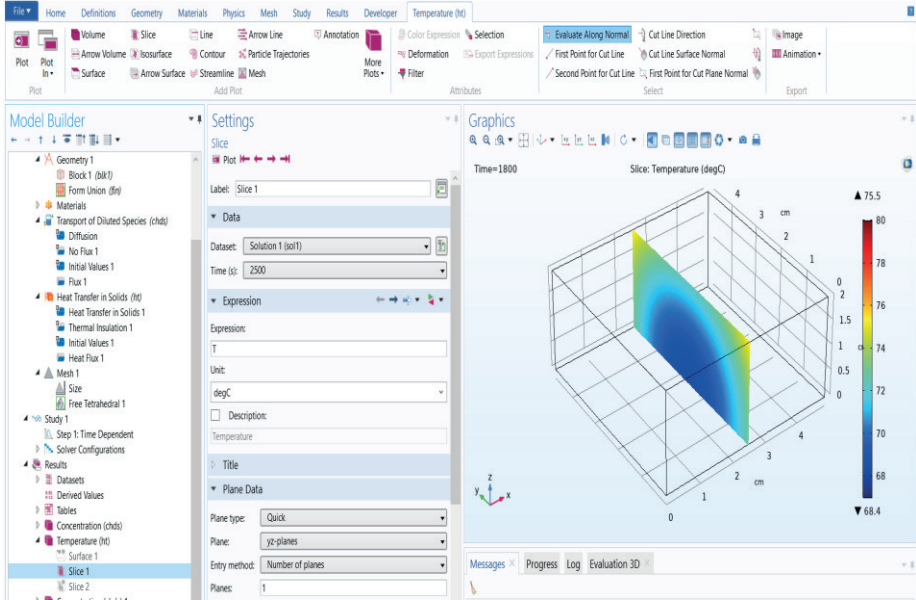
Şekil 17. Programda ağ (Mesh) yapısı kısmı ara yüzü

13. Son olarak analizi başlatmadan önce “Study” kısmı açılarak analiz süresi ve aralığını belirlemek için “Times” kısmı kullanılır. Çözüm için süre hangi birimde ise “Time Unit” kısmı kullanılabilir. Hemen altında “Physics and Variables Section“ kısmından bu ürün için çözülmesi istenen fiziksel modeller seçilir.



Şekil 18. Programda çalışmaya ait süre bilgi ekran ara yüzü

14. “Result” kısmından ürün içerisindeki sıcaklık ve nem dağılımları görülebilir. Eğer ürün içerisinde herhangi dilimindeki nem veya sıcaklık dağılımı görülmek istenirse, “Temperature, Concentration” kısmına mouse aracılığı ile sağ tuş tıklanarak “Slice” tanımlanabilir. Ayrıca istenilen sürede sıcaklık veya nem değişimini görmek için “Time” kısmından istenilen süre seçilebilir. Yüzey nem ve sıcaklık değişiminin yanında kesiti alınarak da görsel sonuç alınabilir.



Şekil 19. Programda sonuç kısmına ait görsel ara yüzü

### Nümerik analiz için programda kullanılan matematiksel ifade ve sınır şartları;

Sıcak havadan kartezyen koordinatlardaki ürün yüzeyine taşınım ile ısı transfer edilirken, ürün içerisindeki sıvı difüzyon ile yüzeye transfer edilir ve dış ortama buharlaşması sağlanır. Fourier yasasına dayalı olarak katıdaki enerji korunum denklemi,

$$\rho c_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} \right) + \nabla(-k \nabla T) = 0 \quad (59)$$

ve Fick yasasına dayalı olarak katıdaki kütle korunum denklemi,

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \nabla(-D\nabla M) = 0 \quad (60)$$

olarak verilebilir (Curcio ve ark. 2008).

### Sınır Koşulları

Kurutma havasından ürün yüzeyine taşınım ile transfer edilen ısı, ürün yüzeyinde su buharlaşmasına neden olurken aynı zamanda ürünün iletimle sıcaklığının artışı da sağlamaktadır. Isı transferi için yüzey sınır şartı;

$$(-k\nabla T) = h_T(T_h - T_s) \quad (61)$$

ve kütle transferi için yüzey sınır şartı ise ürün içerisinden yüzeye difüzyon ile gelen sıvı transferi ile ürün yüzeyinden kurutma havasına gerçekleşen buhar transferi arasındaki denge için yazılmaktadır.

$$(-D\nabla M) = h_M(M_h - M_s) \quad (62)$$



## KAYNAKÇA

- Çengel, Y.A. 2011.** Isı ve Kütle Transferi, 3. Baskıdan Çeviri, Güven Bilimsel Yayıncılık, İzmir, 879 s.
- Incropera, F.P., Dewitt, D.P. 2001.** Isı ve Kütle Geçişinin Temelleri, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 880 s.
- Comsol Multiphysics 5.3, 2017.** Heat Transfer Model Library. Heat Transfer Module User's Guide, Chemical Reaction Engineering Module User's Guide.
- Chiang, W.C., Petersen, J.N. 1987.** Experimental Measurement of Temperature and Moisture Profiles During Apple Drying, *Drying Technology* 5(1), 25-49.
- Younsi, R., Kocaefe, D., Kocaefe, Y. 2006.** Three dimensional Simulation of Heat and Moisture Transfer in Wood, *Applied Thermal Engineering*, 26, 1274-1285.
- Turkan, B., Canbolat, A.S., Etemoglu, A.B. 2018.** 3-D simulation of simultaneous heat and mass transfer of apple, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 50, Special Issue G (pp. 215 - 224).
- Curcio, S., Aversa, M., Calabro, V., Iorio, G. 2008.** Simulation of food drying: FEM analysis and experimental validation. *Journal of Food Engineering*, 87: 541-553.



# BÖLÜM 17

## **ATIK ISIDAN TERMÖELEKTRİK JENERATÖRLERLE ELEKTRİK ÜRETİMİ VE İÇTEN YANMALI MOTORLARDA UYGULAMALARI**

*Dinçer AKAL<sup>1</sup>*



<sup>1</sup> Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne  
dincerakal@trakya.edu.tr  
ORCID: 0000-0003-0055-5471

## Giriş

İçten yanmalı motorlar çok uzun bir süredir başta taşıtlar olmak üzere çok farklı alanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Son zamanlarda hibrit, elektrikli ve hidrojen ile çalışan yakıt hücreli motorlara yönelim olsa da mevcut ekonomik şartlarla birlikte içten yanmalı motorların çok uzun yıllar bu alanda egemen olması sebebiyle insanların araç satın almadaki belirsizlikleri net karar veremedikleri görülmektedir. Gelecek yıllarda şüphesiz içten yanmalı motorlara olan ilgi daha da azalacak ve motorlu araçların yeni nesil elektrikli araçlara dönüşümü gerçekleşecektir. Ancak günümüz şartlarında elektrikli araçların ucuz olmaması, satın alma koşulları gibi ekonomik olumsuzlukların yanında bu araçların menzil sorunu ve şarj süresindeki olumsuzluklar tüketicilerdeki ilgiyi daha da azaltmaktadır. Bu nedenle tüm bu sorunların çözümü için özellikle batarya teknolojileri konusunda tüm dünyada teknolojik araştırmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtın türüne elde edilen ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüştürülür. Ancak bu esnada motorun özelliklerine bağlı olarak egzozdan yaklaşık %40 oranında atık ısı ve yanma sonunda oluşan kirleticiler çevreye yayılmaktadır[1-2]. Son zamanlarda fosil kaynaklı yakıtların rezervlerinin günden güne azalması ve tüm dünyadaki artan petrol fiyatları içten yanmalı motorlara olan ilgiyi azaltmaktadır. Bu nedenle otomotiv üreticileri daha verimli küçük hacimli ekonomik motorlara yönelmekte ve zararlı olan egzoz emisyonlarını azaltmakla ilgili çalışmalara önem vermektedirler. Tüm dünyada motorlu araçlardan kaynaklı zararlı egzoz emisyonlarının azaltılması ve atık ısının geri kazanımı her geçen gün daha büyük önem arz eden konu haline gelmiştir.

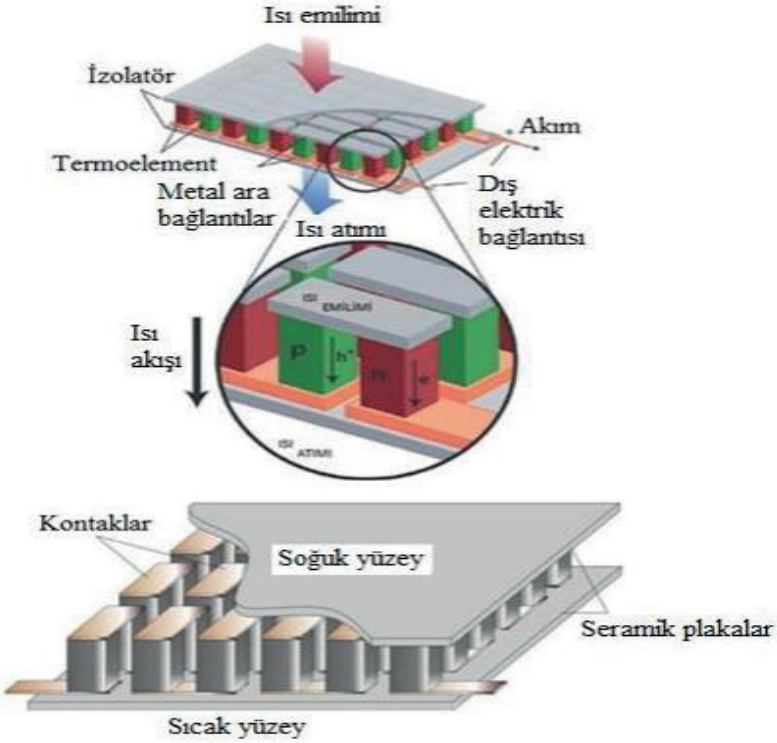
İçten yanmalı motorlarda performans ve yakıt tüketimini en önemli etkileyen parametrelerden birisi silindir içine maksimum havayı alabilmektedir. Silindir içine daha fazla havanın girmesi ve daha fazla yakıtın yanması ile maksimum enerji elde edilmiş olacaktır. Böylece motorun efektif gücünde artmış olacaktır. Silindir içine daha küçük hacimde yakıtı göndermek silindir içine

büyük hacimdeki gaz olan havayı sokmaktan daha kolaydır. Bu sebeple ideal hava miktarını silindirin içine alabilmek için volümetrik (Hacimsel) verim olabildiğince yüksek kayıplarında minimum düzeyde tutulması büyük önem arz etmektedir. Son zamanlarda içten yanmalı motorlarda çevrim üzerinde yapılan çalışmalar, emme egzoz sistemlerindeki tasarımlar, aşırı doldurma (Turboşarj) uygulamaları, termokimya ve yakıtlar üzerine olan çalışmalar, yakıt püskürme ve subap sistemlerindeki yenilikler, motor yönetimi ve elektronik kontrol sistemlerinde teknolojik gelişmelerin ortaya çıktığı görülmektedir.

Son zamanlarda, İçten yanmalı motorlarda trend konulardan biriside egzoz emisyonlarının azaltılması ve atık ısı geri kazanım sistemleri ile ilgili yapılan çalışmalardır. Motorlu araçların egzoz sisteminden atılan sıcak gazların enerjisinden faydalanarak termoelektrik jeneratörlerle elektrik üretimi sonucunda yakıt ekonomisinin sağlanması önemli bir konu haline gelmektedir. Termoelektrik jeneratörler ile elde edilecek ilave elektrik ile alternatör aküyü oldurmak için daha az devreye gireceği için motorun yakıt tüketimi azalacak ve buna bağlı olarak zararlı egzoz emisyonlarının seviyesi de azalmış olacaktır. Atık ısıdan termoelektrik jeneratörlerle elektrik üretiminin motorun yakıt tüketiminin azalması ile ekonomiye, zararlı egzoz gazı emisyonlarının azaltılması bakımından da çevre ve tüm canlılara önemli bir katkı sağlayacağı unutulmamalıdır.

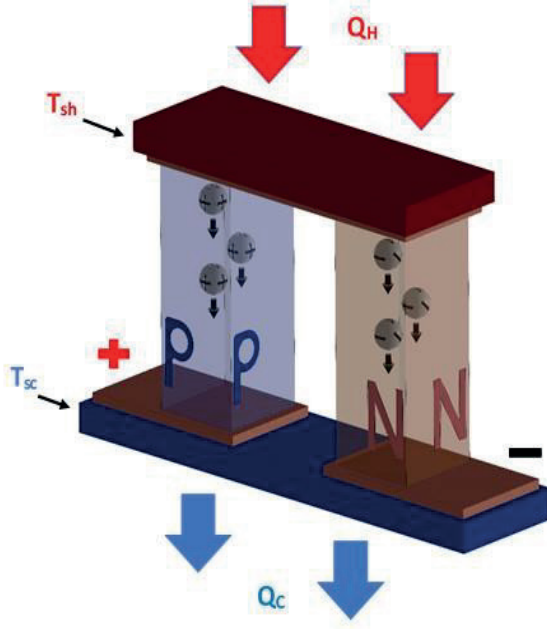
### **Termoelektrik Jeneratörler**

Termoelektrik jeneratörler (TEJ), bir ısı kaynağından sıcaklık farkı ile faydalı bir DC güç kaynağına dönüştüren katı hal yarı iletken elemanlar olarak tanımlanmaktadır. Bir termoelektrik jeneratör ile elektrik gerilimi üretebilmek için Seebeck etkisinden faydalanılmaktadır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan tipik bir termoelektrik modül Şekil 1 de görülmektedir.



Şekil 1: Termoelektrik modül yapısı[3]

Termoelektrik modülün yüzeyleri arasında sıcaklık farkı meydana geldiğinde modülün + ve - uçları arasında bir gerilim meydana gelmektedir. Seebeck etkisi ile uçlar arasındaki potansiyel fark ile elektrik üreten modüllere termoelektrik jeneratör (TEJ) adı verilmektedir. Termoelektrik modülün çıkışındaki + ve - uçlarına elektrik voltajı uygulandığında ise modülün bir yüzeyinde soğutma diğer tarafında ısıtma gücü meydana gelmektedir. Bu nedenle genellikle uygulamalarda termoelektrik soğutucu ve termoelektrik ısıtıcı olarak isimlendirilmektedirler. Termoelektrik modüllerin yapısında hareketli parça olmaması ,gürültü seviyesi az ve oldukça ekonomik olmaları sebebiyle ısıtma/soğutma sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu nedenle pek çok uygulama alanında termoelektrik modüller elektrik üretimi, soğutma ve ısıtma gibi amaçlarda tercih edilebilmektedir.



Şekil 2: Termoelektrik jeneratöre ait yarı iletken bir elemanda enerji dönüşüm prensibi

Şekil 2 de sıcak ısı kaynağından seebeck etkisi ile termoelektrik elemanda meydana gelen enerji dönüşümünün çalışma prensibi gösterilmiştir. Denklemler (1) ve (2) yardımıyla termoelektrik modülden elde edilen voltaj değeri ve çıkış gücü hesaplanabilmektedir [4].

$$V = \alpha(T_{sh} - T_{sc}) \quad (1)$$

$$P = Q_H - Q_C = I^2 R \Delta(T_{sh} - T_{sc}) \quad (2)$$

Burada ;

$V$  ; iki farklı yarı iletken arasındaki gerilim farkını,

$\alpha$  ; Seebeck katsayısını,

$Q_H$  ; termoelektrik modüle sıcak taraftan giren ısı miktarını,

$Q_C$  ; termoelektrik modüle soğuk taraftan giren ısı miktarını,

$T_{sh} - T_{sc}$  ; sıcak ve soğuk taraflar arasındaki sıcaklık farkını,

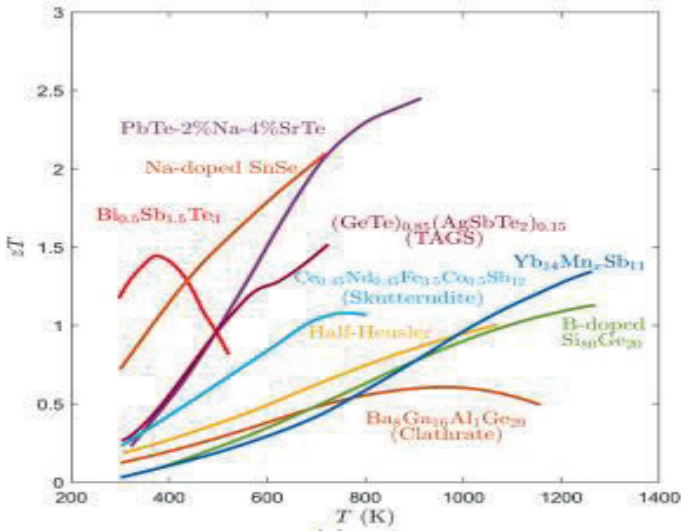
$R$  ; elektriksel direnci,

$P$  ; elektrik gücünü,

$I$  ; elektrik akımını, ifade etmektedir.

Termoelektrik etkinin değeri (ZT) boyutsuz sayı ile tanımlanmaktadır. Termoelektrik malzemenin sıcaklık farkından yararlanarak elektrik enerjisine dönüşüm verimliliği olarak ifade edilmektedir. Burada kullanılan p ve n tipi yarı iletken malzeme özelliklerine göre ZT değerindeki dönüşüm verimliliği değişkenlik göstermektedir.

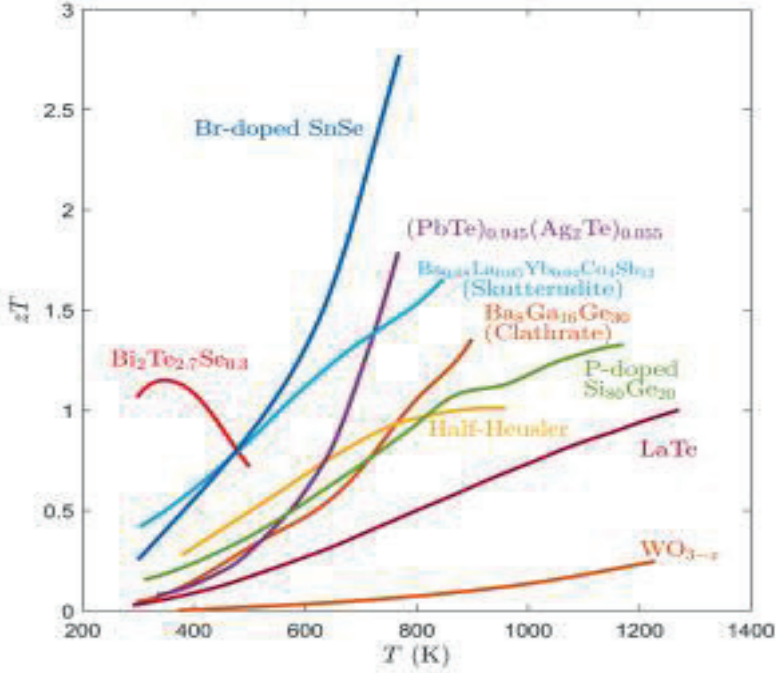
Şekil 3 te p-tipi yarı iletken malzemelere göre ZT değerinin değişim grafiği verilmiştir. Daha iyi termoelektrik performans elde etmek için Seebeck katsayısı daha yüksek, elektriksel ve ısıl iletkenliği daha düşük olan malzemeler kullanılmaktadır. Ancak elektriksel ve termal iletkenlik arasındaki içsel ilişki, yüksek bir ZT elde etmeyi zorlaştırmaktadır [5].



Şekil 3: ZT değerine göre p-tipi termoelektrik malzemelerin sınıflandırılması[5].



Şekil 4 te n-tipi yarı iletken malzemelere göre ZT değerinin değişimi görülmektedir. Enerji hasadı yüksek olan kaplamalarda kullanılan termoelektrik modüllerde genellikle Bizmut tellür ve alaşımları tercih edilmektedir[1-6].



Şekil 4 : ZT değerine göre n-tipi termoelektrik malzemelerin sınıflandırılması[5].

Günümüzde yapılan uygulamalarda termoelektrik jeneratörler için çok farklı soğutma yöntemleri kullanılmış olsa da optimizasyon konusunun çok kolay olmadığı bilinmesi gereklidir. Ayrıca termoelektrik modülün ısı aktarım gücü  $Q$  (W), birim zamanda yüzeyler arasından iletilen ısı miktarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

$$ZT = \frac{\sigma \alpha^2}{k} T$$

Burada;

ZT; termoelektrik malzemelerin verimliliğini belirlemek için kullanılan boyutsuz termoelektrik performans katsayısı

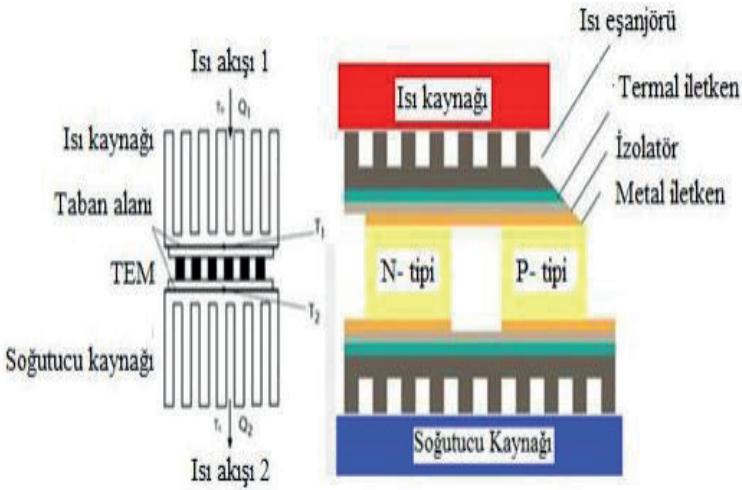
$\sigma$ ; elektrik iletkenlik katsayısını (S/m)

$\alpha$  ; Seebeck katsayısını (W/K)

K ; ısı iletkenlik katsayısını (W/m-K)

T ; mutlak sıcaklığı, tanımlamaktadır.

Termoelektrik jeneratörlerde daha büyük gerilim değerleri elde edebilmek için seebeck katsayısını da yüksek olması gerekmektedir. Ayrıca termoelektrik modül üzerinde oluşan joule ısısını azaltmak için elektriksel iletkenlikte önemli rol oynamaktadır. Tüm bunların yanında termoelektrik jeneratör kurulumlarında sıcak ve soğuk yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının maksimum değerde elde edilmesi halinde üretilen elektrik enerjisi de artmış olacaktır. Günümüz şartlarında ısı geri kazanım ünitelerinde yaygın olarak kullanılan tasarım ve termoelektrik modül yüzeylerinin arasında sıcaklık farkı yaratmak için tercih edilen pasif soğutma sistemi şekil 5 te görülmektedir[3].



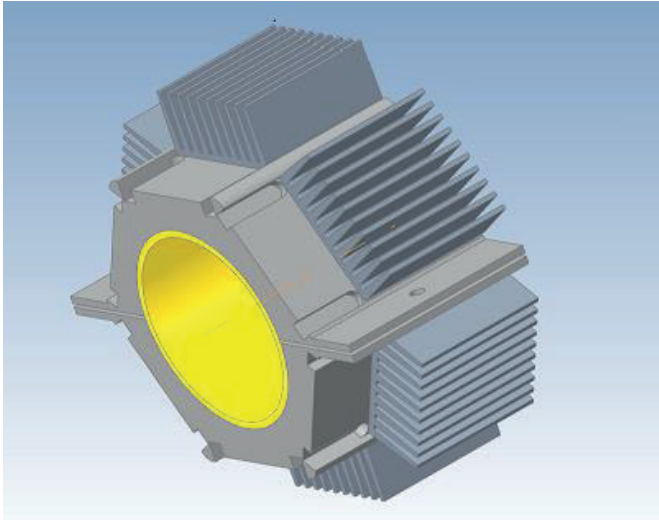
Şekil 5 : Termoelektrik Jeneratör Sistem Tasarımı[3]

İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıta bağlı olarak oluşan toplam enerjinin yaklaşık %25'i araç için yararlı güce , %30'u soğutma sistemindeki kayıplara , %5'i diğer kayıplara dönüşmektedir. Motorda elde edilen güçten daha fazlası %40'lık bir kısım ise egzoz gazları ile atmosfere atılmaktadır. 100 kW'lık yakıt gücüne sahip dizel bir motorda egzozdan atılan ısı yaklaşık 30 kW'lık bir değere sahiptir. Egzozdan atılan bu ısı enerjisi geri kazanım sisteminin kurulması halinde sadece %3'lük enerji dönüşüm verimliliği ile 900 W'lık bir elektrik gücü elde edilmiş olacaktır[3].

### **Motorlu Araçlarda Atık Isı Geri Kazanım Sistemleri**

#### **Egzoz Sistemlerindeki Termoelektrik Jeneratör Uygulamaları**

İçten yanmalı motorların egzoz sistemleri üzerinde önemli miktarda atık ısı meydana gelmektedir. Bu atık ısıdan termoelektrik jeneratör teknolojisi ile elektrik enerjisi elde edilmesi için tasarlanan üniteler gelişme potansiyeli olan tekniklerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu amaçla, Volkswagen marka 1600 cc 120 Hp motor gücünde dizel bir aracın gerçek sürüş koşullarında egzoz atık ısısından termoelektrik jeneratörlerle elektrik enerjisi dönüşümü için tasarlanan modül şekil 6 da görülmektedir. Bu modül üzerinde 6 adet SP-1848 termoelektrik jeneratör kullanılmıştır[7].



Şekil 6:Termoelektrik jeneratörler için tasarlanan modüler ünite

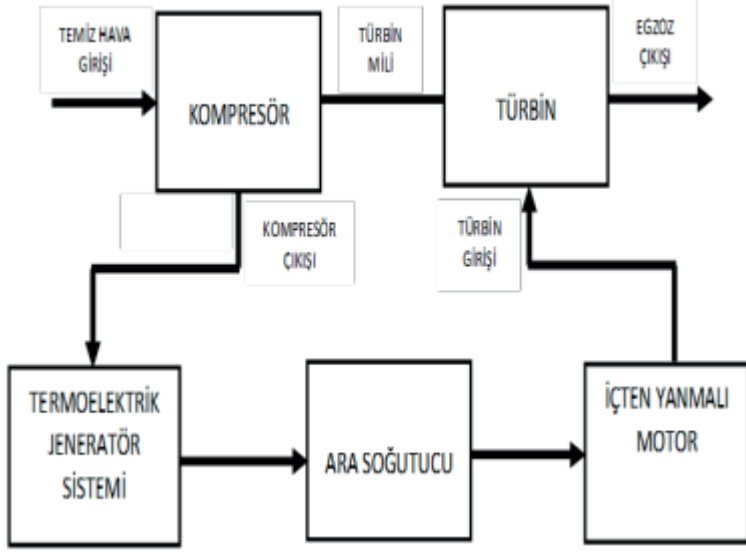
Şekil 6 görüldüğü gibi egzoz borusu çıkışına kolay sökülüp takılabilen 2 parçalı bir modül ünite tasarlanmıştır. Atık ısı geri kazanım ünitesine ait modül ve elektronik bileşenlerin bulunduğu kontrol sisteminin araç egzozuna montajı şekil 7 de görülmektedir.



Şekil 7: Termoelektrik modül ünitesinin egzoz sistemine montajı[7].

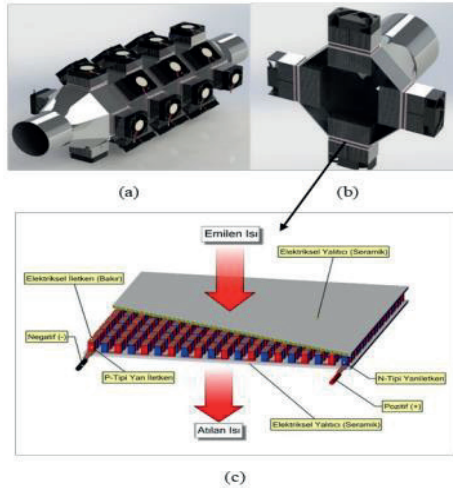
### **Motorun Turboşarj Çıkışındaki Atık Isıdan Faydalanarak Elektrik Üretimi**

Turboşarjlı motorlarda volümetrik verimin artırılması amacıyla kompresörden çıkan havanın sıcaklığı yüksek olduğu için intercoolerde soğutulduktan sonra motora gönderilmektedir. Bu çalışmada, turboşarjlı bir motorun turboşarj çıkışı ile intercooler arasında bir termoelektrik jeneratör sistemi tasarlanmıştır. Böylece kompresörden çıkan yüksek sıcaklıktaki hava intercooler de daha düşük sıcaklıkta girmektedir. Ayrıca termoelektrik jeneratör sistemi sayesinde ilave elektrik enerjisi üretilmektedir. Turbo şarj çıkışı ile intercooler arasında tasarlanan sisteme ait blok şeması şekil 8 de görülmektedir[8].



Şekil 8: Turboşarj çıkışı ile intercooler arasında tasarlanan termoelektrik sisteme ait blok şeması[8].

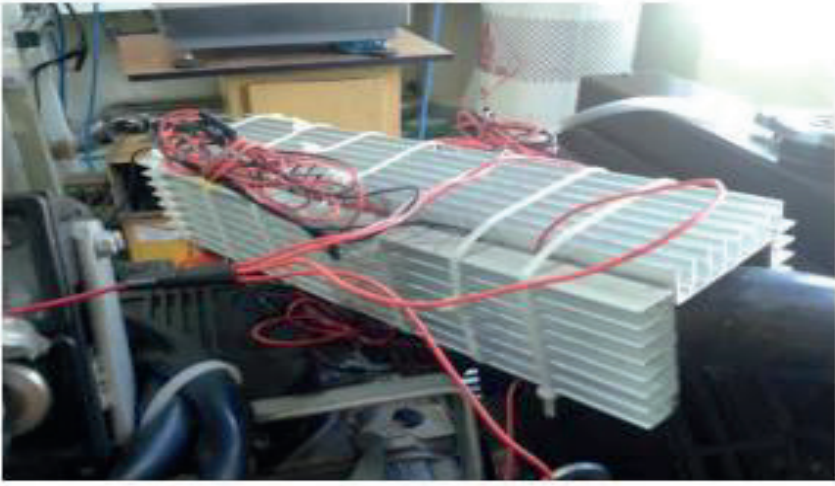
Şekil 9 da Termoelektrik jeneratörlerin CAD modeli, montaj uygulaması ve kesit görünümleri verilmiştir.



Şekil 9 : Turboşarjlı motorda kullanılan termoelektrik jeneratör sisteminin CAD modeli (a) Montaj görünümü (b) Kesit görünümü (c) [8].

## Motorun Soğutma Sistemindeki Radyatör Sıcaklığından faydalanarak Elektrik Üretimi

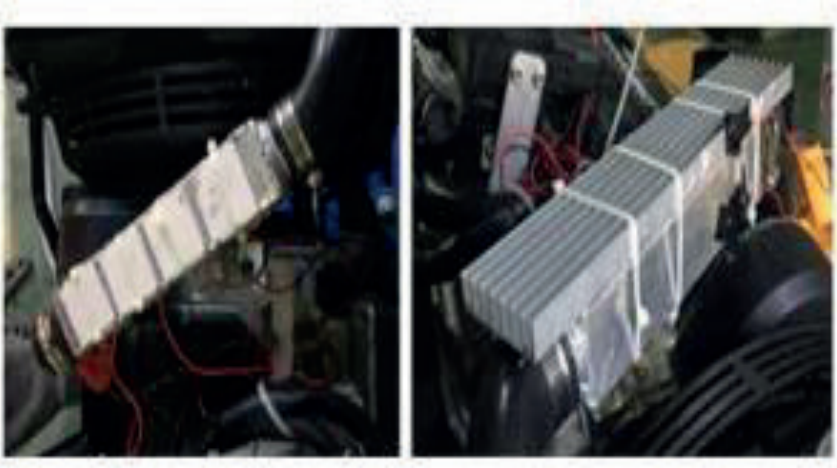
Bu çalışmada motorun soğutma sistemindeki radyatör üst hortum ısısından faydalanarak elektrik üretimi hedeflenmiştir. Dizel bir test motorunda üretilen elektriğin düşük seviyelerde olmasına rağmen soğutma sistemi üzerindeki atık ısının elektrik enerjisine dönüştürülebildiğini göstermektedir[9]. Bu sistemin tasarımı şekil 10 da görülmektedir.



Şekil 10: Soğutma sistemi üzerine tasarlanan termoelektrik dönüşüm ünitesi

Şekil 10 da görüldüğü gibi termoelektrik dönüşüm sistemi soğutma radyatörünün üst hortumu üzerinde tasarlanmıştır. Bu sistem üzerindeki termoelektrik jeneratörler seri olarak bağlanmış ve radyatör üst hortum sıcaklığından yararlanarak elektrik üretilmiştir. Tasarlanan dönüşüm ünitesinde termoelektrik jeneratörün soğutulması için alüminyum malzemeden üretilmiş pasif soğutucular kullanılmıştır[9].



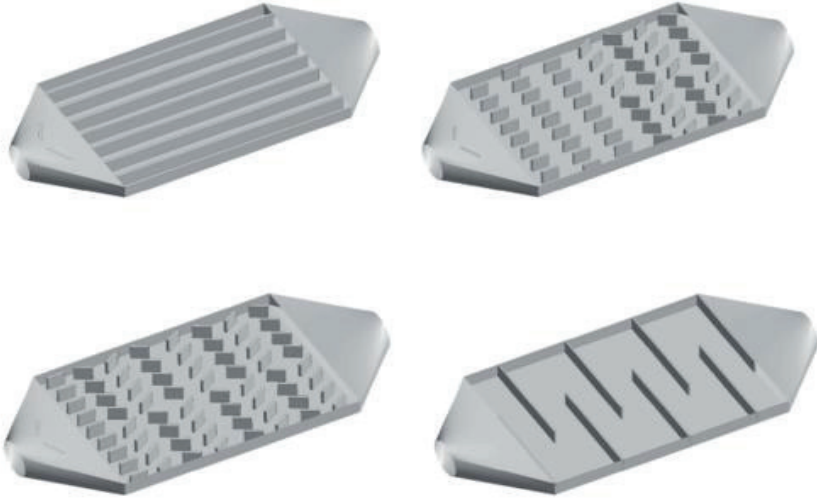


Şekil 11: Radyatör üst hortumuna termoelektrik jeneratörlerin ve pasif soğutucuların montajı[9].

Termoelektrik jeneratörlerin radyatör üst hortumu üzerindeki tasarımı ve alüminyum malzemeden üretilmiş pasif soğutucuların montajı şekil 11 de görülmektedir.

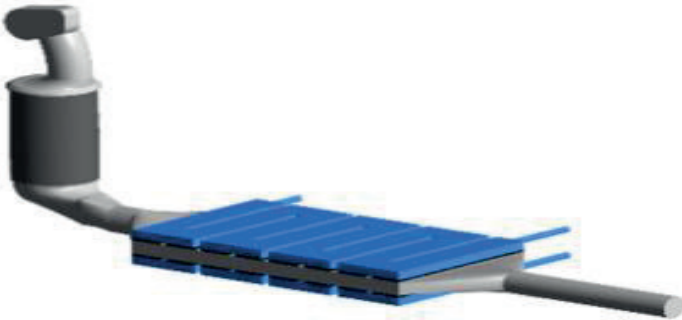
### **Motorun Egzoz Sistemindeki Susturuculara Uygulanan Termoelektrik Modellemeleri ile Elektrik Üretimi**

İçten yanmalı motorların egzoz sistemlerinde atılan gaz sıcaklığının değişkenlik göstermesi sebebiyle enerji geri kazanım sistemlerindeki modellemelerde zorluklar yaşanmaktadır. Egzoz sistemlerindeki termoelektrik jeneratörlerin konumlandırılması gaz akışına ve katalitik konvertörün yeri dikkate alınarak tasarlanmaktadır [10].Egzoz geri kazanım sisteminden elde edilen elektrik enerji dönüşümü kadar termoelektrik jeneratör uygulaması ile motorun güç çıkışının azalmaması önem arz etmektedir. Bu nedenle yapılan uygulamalarda egzoz sistemleri üzerindeki tasarımların Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) kullanılarak incelenmesi tercih edilmektedir. Şekil 12 de egzoz sistemindeki susturucu için yapılan termoelektrik modellemeler görülmektedir.



Şekil 12 : Egzoz susturucusundan elektrik üretimi için yapılan termoelektrik jeneratör modellemeleri[10].

Egzoz sistemi üzerindeki atık ısıdan faydalanarak elektrik üretimini tahmin eden HAD modellemesinde termoelektrik jeneratörlerdeki sıcaklığın azaltılması için tasarlanan su soğutmalı sistem şekil 13 te görülmektedir. Termoelektrik jeneratör dönüşüm sistemi üzerinden elde edilecek elektrik miktarı soğutma optimizasyonuna bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.



Şekil 13 : Egzoz susturucusu üzerindeki termoelektrik jeneratörlere ait su soğutma sistemi[10].



## Sonuç ve Değerlendirme

Termoelektrik jeneratörlerin basit yapıda olması, hareketli parçalarının bulunmaması, ekonomik ve montaj kolaylığı gibi avantajlarından dolayı elektrik üretiminde tercih edildiği görülmüştür. Atık ısının meydana geldiği pek çok sistem üzerinden ilave elektrik üretiminde termoelektrik jeneratörlerin kullanılabilirliği değerlendirilmiştir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; özellikle İçten yanmalı motorların verimliliği, atık ısı geri kazanım sistemi kullanılarak dolaylı olarak artırılabilirliği anlaşılmaktadır. Atık ısı geri kazanım sistemlerinden elde edilecek elektrik miktarı kullanılacak termoelektrik jeneratör modülünün özelliklerine, kullanılacak termoelektrik jeneratör sayısına, sistem üzerindeki sıcaklığa, tasarım şartlarına, modellemeye ve termoelektrik jeneratörlerin soğutma optimizasyonuna göre değişkenlik göstermektedir. Uygulamalarda içten yanmalı benzinli ve dizel motorlarda pek çok çalışma yapılmasına rağmen termoelektrik jeneratörlerin verimlerinin düşük olması ve sistem tasarımındaki zorluklar nedeni ile otomotiv sektöründe yaygın olarak tercih edilmemektedir.

Termoelektrik jeneratörlerin içten yanmalı motorlarda kullanılarak elde edilen elektriğin aküye verilmesi halinde alternatör daha az devreye gireceği için hem yakıt tasarrufu hem de zararlı egzoz emisyonlarında azalma sağlanmış olacaktır. Bu nedenle içten yanmalı motorlarda enerji verimliliği için atık ısı geri kazanım sistemleri üzerinde yapılacak araştırmalara önem verilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

## KAYNAKÇA

- [1].Ge,M., Li, A., Zhao, Y.,Xuan, Z., Li, Y., Zhao, Y.(2022).Experimental study of thermoelectric generator with different numbers of modules for waste heat recovery. *Applied Energy*.322,119523.
- [2]. Wang Y, Li S, Xie Xu, Deng Y, Liu X, Su C. (2018). Performance evaluation of an automotive thermoelectric generator with inserted fins or dimpled-surface hot heat exchanger. *Appl Energy* 218:391–401.
- [3] Dalar, U. (2019). *Otomobil Egzoz Sistemlerinde Termoelektrik Jeneratörlü (Tej) Atık Isı Geri Kazanım Sisteminin İrdelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- [4]. J. Wang, F. Xiao , H. Zhao.(2021). Thermoelectric, piezoelectric and photovoltaic harvesting technologies for pavement engineering. *Renewable and Sustainable Energy Review*.151,111522.
- [5]. P. Fernandez-Yanez, V. Romero , O. Armas , G. Cerretti.(2021). Thermal management of thermoelectric generators for waste energy recovery. *Applied Thermal Engineering*,196,117291.
- [6]. Zhiqiang Niu, Hai Diao, Shuhai Yu, Kui Jiao , Qing Du, Gequn Shu.(2014). Investigation and design optimization of exhaust-based thermoelectric generator system for internal combustion engine. *Energy Conversion and Management*.85,85-101.
- [7].Akal,D.,Umut, İ.(2023). Monitoring of electricity generation from exhaust waste heat and wireless data recording from a mobile phone in real driving conditions of a vehicle. *Environmental Science and Pollution Research*, 30:100576–100583
- [8].Gürçan, A., Yakar, G.(2021).Bir Termoelektrik Jeneratör Sisteminin Isı Alıcısının Isıl Performansına Farklı Dış Ortam Sıcaklıklarının Etkisi. *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,15,391-413.
- [9]- Albana, H.M.(2018). Conversion of Heat Energy from Cooling Water of Diesel Engine to Electrical Energy Using Thermoelectric Generator. *Makara J. Technol.* 22/3 , 142-148.
- [10]. Fernández-Yanez , P ., Armas, O., Capetillo, A.,Martínez, S.(2018). Thermal analysis of a thermoelectric generator for light-duty diesel engines. *Applied Energy*,226,690-702.

# BÖLÜM 18

## **GALVANİK KOROZYONA GENEL BAKIŞ\***

*Selim TAŞÇI<sup>1</sup>*



<sup>1</sup> Dr. Mühendis Osmangazi Üniversitesi Lisans Üstü Eğitim Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tez Çalışması, Eskişehir.  
selimtaschi@hotmail.com

ORCID ID: 0009-0007-2695-1807

\* CrN Ve TİN Kaplamaların Galvanik Korozyon Davranışı- İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Nisan 2000 Selim TAŞÇI Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Korozyon, içinde buldukları ortamın etkisi ile metalik malzemelerin fiziksel, kimyasal, mekanik, elektriksel ve diğer özelliklerinde meydana gelen istenmeyen değişiklikler olarak tanımlanabilir. Günümüzde korozyon önemli ekonomik bir sorun olmasının yanında ekolojik bir sorun olarak da karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle yüksek teknoloji endüstrilerinin en önemli amaçlarından biri korozyonu azaltmak üzere yöntemler geliştirmektir.

Yapılan çalışmalar dünyadaki korozyon kayıplarının ülkelere her yıl gayri safi milli hasıllarının yaklaşık % 4 – 6'sı arasında ilave bir yük getirirken bu değer Türkiye için % 4,5 civarındadır [1].

Metalik malzemelerin bütündeki özelliklerini istenilen yönde değiştirmek yerine, bu hedefe yüzeysel değişikliklerle ulaşmak ekonomik, pratik ve kolay bir yöntemdir. Bu nedenle, metalik yüzeylerin yüzey niteliklerini artırmak için alaşımlandırma, boyama, metalik veya inorganik maddelerle kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Böylece metalik kaplamalar kullanılarak yüzeyde fiziksel, mekanik veya dekoratif bir özellik sağlanmaktadır [2].

## 2. GALVANİK KOROZYON

İki ayrı metal veya alaşımın korozif ortamda iletken bir malzemeyle birleştirilmesi sonucu oluşan korozyon galvanik korozyon olarak tanımlanmaktadır. Bir çözelti içerisinde, farklı metal veya alaşımlar kullanılarak elektriksel olarak bir ikili oluştuğunda, oluşan potansiyel fark elektron akışına sebep olur. Korozyonun oluşabilmesi için gerekli olan itici güç, bu iki malzeme arasında oluşan potansiyel farktan kaynaklanır. Oksitleyiciler katot olarak davranan daha kararlı malzeme üzerinde indirgenirken; anodik reaksiyon yani malzemenin çözünmesi, daha aktif olan malzeme üzerinde meydana gelir [ 3 ].

Akışın yönünü, dolayısıyla galvanik davranışı, metal veya alaşımların aktivitesi belirler. Galvanik ikilide daha aktif metal veya alaşım anodik, daha kararlı metal veya alaşım da katodik davranış gösterir. Bir metal veya alaşımın aynı elektrolit içerisinde başka bir metal veya metal olmayan bir iletken ile elektriksel olarak ikili oluşturması durumunda meydana gelen galvanik korozyonun oluşması için; farklı yüzey potansiyeline sahip malzemeler, uygun

bir elektrolit ve elektriksel bağlantı olması gerekmektedir. Bir galvanik ikilide meydana gelen anodik reaksiyon, bölgesel ya da genel bir metal çözünmesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca bir malzemenin korozyona karşı termodinamik eğilimi, normal hidrojen elektroda ( NHE ) karşı, çözünen malzemenin yarı - hücre potansiyeli ölçülerek tanımlanabilir. Ölçülen potansiyel, standart elektrot potansiyeli olarak adlandırılır. Malzemenin standart elektrot potansiyeli ne kadar artarsa, malzeme o kadar katodik davranış gösterir. Standart elektrot potansiyeli elektrokimyasal çevre ile bağlantılıdır. Standart elektrokimyasal potansiyelin metalin kullanıldığı ortamdaki gerçek potansiyeli ile uyumluluğu çok azdır. Malzemenin korozyon davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, kullanıldığı ortamdaki korozyon potansiyeli ölçülerek elde edilmektedir. Galvanik eşleşme sonucunda oluşan korozyonun derecesi; metal veya alaşımlar arasındaki potansiyel fark, ortam özellikleri, metal veya alaşımların polarizasyon davranışları ve metal veya alaşımlar arasındaki geometrik ilişki tarafından etkilenmektedir[3].

Standart elektrot potansiyeli ve korozyon potansiyeli, korozyon termodinamiği hakkında bilgi verirken meydana gelecek korozyon hızı hakkında bilgi vermezler. Metallerin çoğu için aktif korozyon kinetiği Tafel veya lineer kinetik ile gösterilebilir.

## 2.1. Galvanik Seriler

Galvanik seriler metal ve alaşımlar arasındaki galvanik ilişkiyi tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu tür seriler, özel bir elektrolit içerisinde metal veya alaşımların potansiyelleri ölçülerek düzenlenmiştir. Galvanik seriler bir galvanik ikilide daha aktif olan metal veya alaşımı tespit etmek için de kullanılmaktadır. Bazı durumlarda galvanik serilerde iki metal veya alaşım arasındaki fark, korozif etkinin olası büyüklüğü hakkında bilgi verirken, metal veya alaşımların potansiyelinin çevresel şartlardan etkilendiği görülmektedir. Örneğin; bazı ortamlarda korozyon sonucu metal veya alaşım yüzeyinde film tabakası şeklinde yüzeyde bazı değişiklikler meydana gelmektedir. Bu nedenle çalışma koşullarına bağlı olarak her bir farklı ortam için galvanik seri ölçümü yapılması gerekmektedir. Tablo 1.1'de verilen galvanik seri, deniz suundaki

ölçümlerden elde edilmiştir. Bu seri doğal sulara ve kirli olmayan atmosferlerde geniş ölçüde kullanılmaktadır [3].

Mühendislik malzemeleri ve alaşımlarında aktif ve kararlı bileşenler arasında polarizasyon sonucu oluşan potansiyel değişim ile bir akım akışı meydana gelmektedir. Bu malzemelerde elektromotor güç serileri ile galvanik korozyon ölçümlerinin yapılması meydana gelen akım akışının tahmin edilmesinden daha kolaydır. Çevre koşullarına bağlı olarak değişen potansiyel değişimi, kararlı bir metal veya alaşım için polarize olduğunda, potansiyeli daha aktif metal veya alaşımın potansiyeline doğru değişim gösterir. Yani galvanik korozyon davranışı, alan oranı, elektriksel olarak bağlanmış malzemeler arasındaki mesafe ve geometrik şekiller gibi faktörlerden galvanik korozyon davranışını etkilemektedir [4].

Galvanik korozyonda alan oranı, etkisi daha kararlı olan bileşenin yüzeyinin daha aktif olan bileşenin yüzeyine oranını gösterir. Kararlı metal veya alaşımın yüzey alanı, aktif olan metal veya alaşımın yüzey alanından daha büyük olduğunda, katodik kontrollü bir ikilinin olduğu durum için uygun olmayan bir alan oranı ortaya çıkmaktadır. Katot alanının büyük olması aktif olan anodun çözünme hızını arttıracak ve dolayısıyla korozyon hızı da artacaktır. Daha aktif metal veya alaşımın anodik akım yoğunluğu oldukça büyük olduğundan oluşan polarizasyon daha belirgin bir galvanik korozyona neden olur. Ters alan oranı ( büyük aktif yüzey, daha küçük kararlı yüzey ) çok az miktarda hızlanmış galvanik etkiler yaratmaktadır.

Galvanik bir ikilideki farklı metallere fiziksel olarak birbirine daha yakın olanlar, birbirinden uzak olanlara göre daha büyük galvanik etki oluşturur. Mesafenin etkisi çözeltinin iletkenliğine bağlıdır, çünkü akımın izlediği yol göz önünde bulundurulması gereken başlıca etmendir.

**Tablo 1.** 25 ° C'de deniz suyunda galvanik seriler [ 4 ]

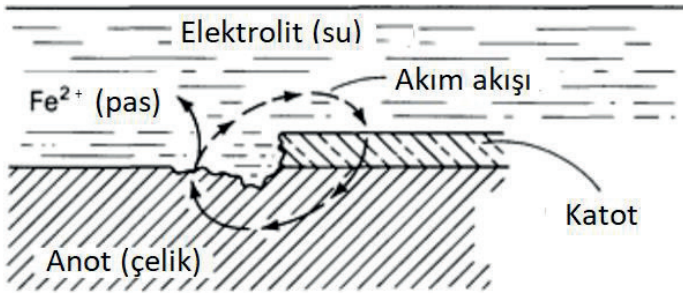
<b>Anodik ( aktif )</b>
↓
Magnezyum
Magnezyum alaşımlar
Çinko
Galvanize çelik veya galvanize dövme demir
Alüminyum alaşımlar
5052, 3004, 3003, 1100, 6053
Kadmiyum
Alüminyum alaşımlar
2117, 2017, 2024
Düşük karbon çeliği
Dövme demir
Dökme demir
Ni kararlı durumda ( yüksek nikel dökme demir )
410 paslanmaz çelik ( aktif )
50-50 kurşun - kalay lehim
304 paslanmaz çelik ( aktif )
316 paslanmaz çelik ( aktif )
Kurşun
Kalay
Bakır alaşımı C28000 ( Muntz metal, % 60 bakır )
Bakır alaşımı C67500 ( manganez bronz A )
Bakır alaşımları C46400, C46500, C4660, C46700
Nikel 200 ( aktif )
Inconel alaşım ( aktif )
Hastelloy alaşımB
Chlorimet 2
Bakır alaşımı C27000 ( san pirinç, % 665 bakır )
Bakır alaşımları C44300, C44400, C44500
Bakır alaşımları C60800, C61400 ( alüminyum bronz )
Bakır alaşım C2300 ( kırmızı çelik, % 85 Bakır )
Bakır C11000 ( ETP bakır )
Bakır alaşımları C65100, C65500 ( silikon bronz )
Bakır alaşım C71500 ( bakır nikel, % 30 Ni )
Bakır alaşım C92300, döküm ( kurşunlu kalay bronz G )
Bakır alaşım C92200, döküm ( kurşunlu kalay bronz M )
Nikel 200 ( pasif )
Inconel alaşım pasif
Monel alaşım 400
410 paslanmaz çelik ( pasif )
304 paslanmaz çelik ( pasif )
316 paslanmaz çelik ( pasif )
Incoloy alaşım 825
Inconel alaşım 625
Hastelloy alaşım C
Chlorimat 31
Gümüş
Titanyum
Grafit
Altın
Platin
↑
<b>Katodik ( asil )</b>

## 2.2. Galvanik Korozyonda Meydana Gelen Saldırı Şekilleri

Birden fazla malzeme içeriğine sahip bir metalin anodik üyesinin galvanik korozyonu, genel veya bölgesel korozyon şeklinde olabilir. Genel veya bölgesel

korozyon; malzemenin şekline, film özelliğine ve metal veya alaşımların içeriğine bağlıdır. Galvanik korozyonda meydana gelen saldırı şekilleri genel olarak beş ana kategoride incelenir.

- a) **Farklı metaller:** Mühendislik tasarımında farklı metallerin mekanik veya diğer yöntemlerle bir araya getirilmesi oldukça yaygındır. Örneğin tanklarda, ısı değiştiricilerinde veya makinelerde, ısıtma ve soğutma bobinlerinde kullanımı oldukça yaygın kullanılmaktadır.
- b) **Metalik olmayan iletkenler:** Galvanik ikilide, metalik olmayan iletkenlerin katot olarak etkisine az sıklıkta rastlanmaktadır. Ancak tanklardaki karbon briketler, çok kullanılan metal veya alaşım yapıları karşı oldukça katodik davranmaktadırlar. Su geçirmez grafit, özellikle ısı değiştirici uygulamalarında daha az kararlı metal veya alaşımlara karşı katodik davranmaktadır. Karbon dolgulu polimerler bir galvanik ikilide kararlı metal olarak davranabilir. İletken filmlerin davranışına başka bir örnek manyetit,  $Fe_3O_4$ , çelik üzerine demir sülfatlar veya kurşun üzerine kurşun sülfatlar gibi iletken filmlerin davranışı verilebilir. Bu tür filmler gözenekler ve kırıklar nedeniyle açıkta kalan ana metale karşı katodik olabilir. Bu durum Şekil 1.'de görülmektedir.



**Şekil 1.** Çeliğin galvanik korozyonuna kırıkların etkisi.

- c) **Metalik kaplamalar:** Mühendislik tasarımında iki tür metalik kaplama kullanılır. Kararlı metal kaplamalar ve kurban metal kaplamalar. Kararlı metal kaplamalar daha reaktif bir metal üzerine bariyer kaplama olarak kullanılır. Kararlı metal kaplamada alt metalin galvanik korozyonu gözeneklerde, hatalı alan ve köşelerde meydana



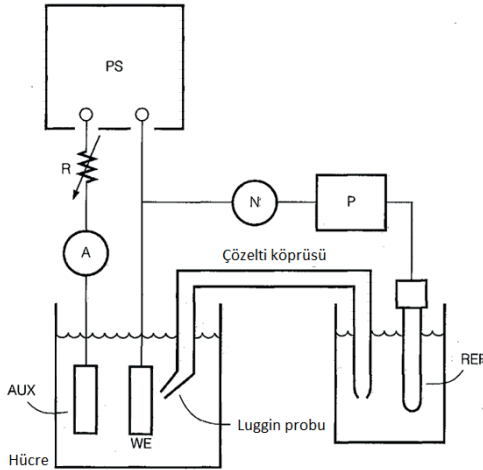
gelebilir. Kurban metal kaplamalar daha kararlı ana metalin katodik korunmasını sağlarlar.

- d) **Katodik koruma:** Magnezyum, çinko ve silisyum galvanik (kurban) anotlar katodik koruma uygulamalarında geniş ölçüde kullanılmaktadır. Daha aktif metal ve daha kararlı bir yapıdan (yeraltı borusundaki gibi genellikle çelik, bazen alüminyum) oluşan galvanik ikili, kurban metalin ( anodun ) hızlanmış korozyonu meydana gelirken galvanik ( katodik ) koruma sağlar.
- e) **Metal iyonu biriktirme:** Kararlı metal iyonları daha aktif bir metal yüzeyinde indirgenabilir ( Örneğin çelik veya alüminyum üzerine bakır, bakır üzerine gümüş ). Özellikle alüminyum alaşımlarla ilgili olan bu proses sementasyon olarak da bilinir [5].

### 3. GALVANİK KOROZYON ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN DENEYSEL YÖNTEMLER

#### 3.1. Galvanostatik Devreler

Şekil 2'de bir numune veya çalışma elektrodunun ( WE ) üzerindeki galvanostatik veya sabit akım elektrokimyasal polarizasyon ölçümleri için kullanılan şematik devre görülmektedir. Filtre edilmiş doğru akım güç kaynağı ( PS ) çalışma elektroduna gerekli akımı sağlamaktadır.



Şekil 2. Galvanostatik polarizasyon ölçümleri için kullanılan devre [6 ].

Çalışma elektrodunun potansiyeli, potansiyometre ( P ) ve sıfır dedektör elektrometreye ( N ) seri bağlı olan bir referans elektrot yardımıyla ölçülür. En basit deney düzeneği, referans elektrotu direkt olarak elektrolit çözeltisi ve elektrot içeren deney hücresine daldırmak suretiyle gerçekleştirilir. Elektrolitteki omik direnç engellemelerini en aza indirmek için genellikle tuz köprüsü ve Luggin probu kullanılır

Değişken direnç R, hücredeki  $r_e$  dirençlerinin toplamından çok daha büyüktür. Polarizasyon sırasında  $r_e$ deki küçük değişiklikler devre direncinde herhangi bir etki yaratmazlar. Böylece sabit bir devre direnci için güç kaynağından sağlanan sabit voltaj, devrede ampermetre ile ölçülen sabit I akımını sağlar.

Şekil 2'den görüldüğü üzere, güç kaynağı negatif elektriksel kutba bağlandığı zaman çalışma elektrodu bir katot olarak polarize olur. Pozitif elektriksel kutba bağlanan yardımcı elektrot ise aynı anda anot olarak polarize olur. Elektriksel kutuplar değiştirildiğinde, çalışma elektrodu anot yardımcı elektrot ise katot olur [6].

### 3.2. Polarizasyon Hücrelerinde Yük Taşınımı

Bir elektrolit çözeltisinde akım, üç muhtemel prosesle hareket eden yüklü iyonlarla taşınır. Bu prosesler:

- Konsantrasyon gradyenti nedeniyle difüzyon kontrollü taşınım,
- Potansiyel gradyenti tarafından kontrol edilen elektrostatik yer değiştirme kontrollü taşınım,
- Fiziksel karıştırmanın neden olduğu konveksiyon.

Karıştırma ve konsantrasyon farkının olmadığı durumda, negatif iyonlar (  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $OH^-$  v.b. ) pozitif elektroda doğru çekilir. Oksidasyonun olduğu pozitif elektrot anot, reaksiyona giren negatif iyonlar ise anyon olarak adlandırılır [ 7 ].

Anotta oluşmuş elektronlar normal elektronik kondüksiyonla elektriksel devreden geçerler. Güç kaynağı, elektronları anottan çeken ve onları negatif elektrotta iten bir elektron pompası gibi düşünülebilir. Pozitif iyonlar (  $Fe^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $H^+$  ) da elektrolitte negatif elektroda doğru çekilirler. Katodik

reaksiyonun olduğu negatif elektrot katot olarak adlandırılır. Katoda doğru çekilen pozitif iyonlar ise katyon olarak adlandırılır [ 8].

Uygun yarı hücre elektrot potansiyeli olan sadece bu iyonlar kendi elektrotlarına çekildikten sonra, elektrokimyasal olarak reaksiyona girebilirler. Örneğin anota çekilen  $Cl^-$  genellikle klor gazına okside olmaz, çünkü yarı hücre reaksiyonu oldukça yüksek kararlı potansiyellerde gerçekleşmektedir ( Sadece  $Cl^-$  kararlı ). Aynı şekilde Na metali, suda çok aktif yarı hücre elektrot potansiyelinin üstündeki potansiyellerde kararsızdır. Bu nedenle olağan elektrolit şartlarında  $Na^+$ 'nın katodik redüksiyonu termodinamiksel olarak imkansızdır. Ancak, anodik polarizasyonun oldukça yüksek olduğu deniz suyu katodik koruma sistemlerindeki sıkıştırılmış akım anotlarında  $Cl^-$ ,  $Cl_2$  gazına okside olabilir [7].

Bir anot olarak çalışma elektrotu için, metal çözünme reaksiyonlarının şekli korozyonda önemlidir.



Yardımcı elektrot bir anot olarak polarize olduğunda ( çalışma elektrodu, katot ), elektroliti kirleten anodik çözünmeyi önlemek üzere,  $M$  çok kararlı bir  $e_{M/M^{n+}}$ 'ye sahip yardımcı elektrot için seçilmelidir. Bu amaçla genelde platin ya da karbon seçilir. Yardımcı elektrotta reaksiyonla anodik çözünmenin olmadığı durumda, diğer anodik oksidasyon reaksiyonlarının elektronları serbest bırakması mümkündür. Bu reaksiyonlar şu şekilde bir redoks reaksiyonunda oksidasyonu içerir;



ve oksijenin oluşumu;



Kararlı - metal yardımcı elektrodun çözünmemesi için ( 1.2 ) ve ( 1.3 ) reaksiyonlarının her ikisi de  $e_{M/M^{n+}}$ 'nin (  $e_{Pt/Pt^{3+}}$  ) altındaki potansiyellerde çalışmalıdır.

### 3.3. Korozyon Potansiyeli ve Akım Yoğunluğu

Çinko gibi bir metal asidik bir çözeltide korozyona uğradığında yüzeyde aynı anda

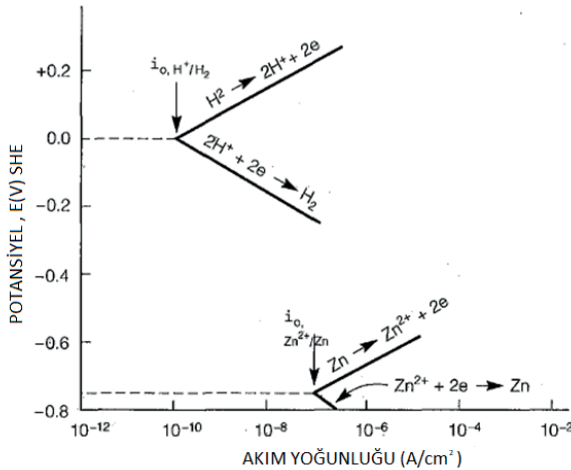
anodik



ve katodik



yarı hücre reaksiyonları meydana gelir. Şekil 1.3'deki gibi her biri kendi yarı hücre elektrot potansiyeli ve değişen akım yoğunluğuna sahiptir. Bununla beraber  $e_{\text{Zn}/\text{Zn}^{2+}}$  ve  $e_{\text{H}^+/\text{H}_2}$  iki yarı hücre potansiyeli elektriksel olarak iletken bir yüzeyde aynı anda ayrı ayrı var olamaz. Her bir yarı hücre elektrot potansiyeli, korozyon potansiyeli olarak adlandırılan ortak bir ara değere,  $E_{\text{kor}}$  'a polarize olmalı veya dönüştürmelidir.  $E_{\text{kor}}$ , (1.4) ve (1.5) reaksiyonları için yarı hücre elektrot potansiyellerinin bir kombinasyonu veya karışımı olduğundan karışım potansiyeli olarak belirtilebilir. Hidrojen bazen bir oksitleyici olarak belirtilebilir, çünkü hidrojen katodik reaksiyonda redüksiyonu ile katyonlarına çözünen metalleri okside eder.



**Şekil 3.** Korozyona uğrayan çinko yüzeyinde oluşan anodik ve katodik yarı hücre reaksiyonları.

İki farklı elektrot birbiriyle bağlandığında, bu elektrotlar buldukları korozyon ortamında karışık bir potansiyel oluştururlar. Bu karışık potansiyel iki farklı elektrodun karşılıklı verileri ile aya çıkan bir potansiyeldir. Bu şartlar altında daha karalı olan metal daha aktif olan metalin çözünmesi esnasında üretilen elektronları harcayacaktır. Potansiyelleri birbirinden farklı iki elektrodun oluşturduğu tabii korozyon reaksiyonlarını Şekil 4.' de görmek mümkündür.

(1.4) ve (1.5) reaksiyonları aynı yüzey üzerinde polarize olurken, yarı hücre elektrot potansiyelleri sırasıyla  $E_{kor}$ 'da eşit olana kadar değişir;

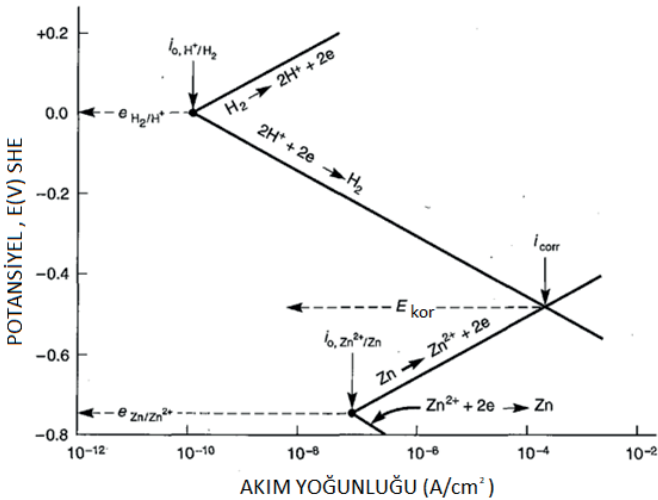
$$\eta_a = \beta_a \log \frac{i_a}{i_0} \quad (1.6)$$

ve

$$\eta_k = \beta_k \log \frac{i_c}{i_0} \quad (1.7)$$

$E_{kor}$ 'da anodik ( 1.4 ) ve katodik ( 1.5 ) reaksiyonlar eşittir. Anodik çözünme hızı (  $i_a$  ), korozyon hızıyla (  $i_k$  ), hemen hemen aynıdır ve şekil 1.4.'de belirtildiği gibi  $E_{kor}$ 'da eşittir.

$$i_a = i_c = \dot{I}_{kor} \quad (1.8)$$



**Şekil 4.** Asidik bir çözeltide anodik ve katodik yarı hücre reaksiyonlarının polarizasyonu.

### 3.4. Korozyon Potansiyeli ve Akım Yoğunluğu

Korozyon için itici güç, kuvvetli bir oksitleyicinin eklenmesiyle arttırılır. Yarı hücre elektrot potansiyeline sahip olan bir redoks sistemi diğerlerinden çok daha karardır. Bir asit çözeltisinde korozyona uğradığı varsayılan metal M'ye ferrik - ferro tuz karışımının ilavesi bu duruma örnek gösterilebilir. Bu durum, tek bir redoks reaksiyonuna sahip saf bir sistemin bulunduğu servis şartları için oldukça gerçekçi bir örnektir. Endüstriyel asitler, ferrik - ferro tuzlar ve işlem süresince korozyonla eklenen veya proses süresince uzaklaştırılmayan diğer katyonik safsızlıklar ile sık sık kirletilirler.

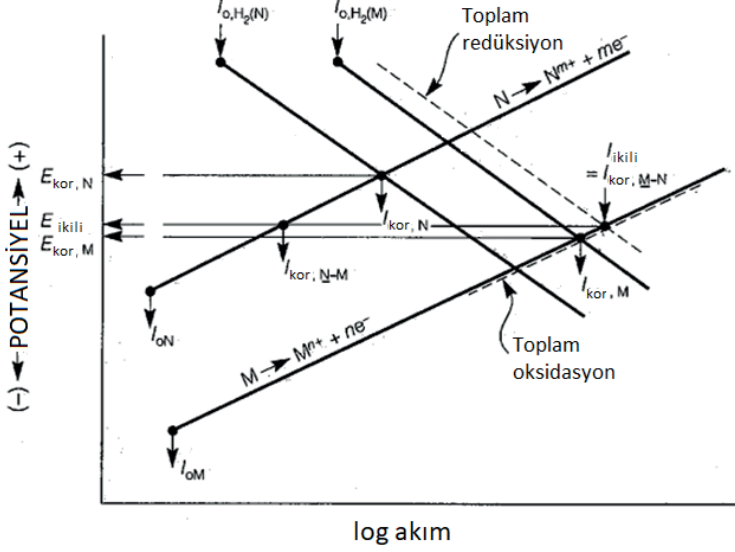
Asidik bir çözeltiye bir oksitleyici ilavesiyle, demirin korozyonunda elde edilen deneysel sonuçlar; korozyon potansiyeli  $E_{kor}$  daha kararlı değerlere doğru yer değiştirmesi, korozyon hızının artması ve hidrojen oluşum oranının düşmesidir.

Anot metal M, ve katot metal N için Şekil 5.'de verilen polarizasyon diyagramında korozyon potansiyelleri  $E_{korM}$  ve  $E_{korN}$  görülmektedir. İkisinin potansiyeli  $E_{ikili}$ , karışım potansiyeli teorisine göre toplam oksidasyonun toplam redüksiyona eşit olduğu durumda tekrar belirlenir. Korozyona uğrayan metal ikiliyle birlikte, toplam redüksiyon hızı veya akımına ilaveten toplam oksidasyon oranı da düşünülmelidir. Zn-Pt ikilisinin kullanıldığı örneklerde platin inert olduğundan yalnızca çinkonun çözünmesi veya oksidasyonu düşünülmelidir.  $E_{ikili}$ 'de M için anodik çözünme oranı  $i_{kor(M)}$ ' den  $i_{kor(M-N)}$  ' ye yükselirken, katot N için  $i_{kor(N)}$  ' den  $i_{kor(M-N)}$  ' ye düşer.

Korozyona uğramış metal içeren galvanik ikililerde, ikilinin potansiyeli her zaman için iki metalin birleşmemiş korozyon potansiyelleri arasındaki bir değere ulaşır. Daha kararlı korozyon potansiyeline sahip olan metal katodun korozyon oranı her zaman için azalırken, daha aktif korozyon potansiyeline sahip metal anodun korozyon oranı ise her zaman için artar. Anodun korozyonunun artmasıyla katodun korozyonunun düşmesi kurban anotlarla katodik koruma için bir temel teşkil eder.

Bir galvanik ikilide, daha dirençli alaşımın korozyon hızı düşerken, düşük dirençli alaşımın korozyon hızı ise her zaman artar. Örneğin atmosfere açık ortamda çinko ( galvanize ) kaplamalar atmosferik ortamda, yüzeyinde su

filmi oluşan çelikten daha düşük oranda korozyona uğrarlar. Bununla birlikte daha aktif korozyon potansiyeline sahip olan çinko, açıkta kalan çeliği katodik olarak korumak için kaplamadaki çatlaklarda galvanik olarak korozyona uğrar.



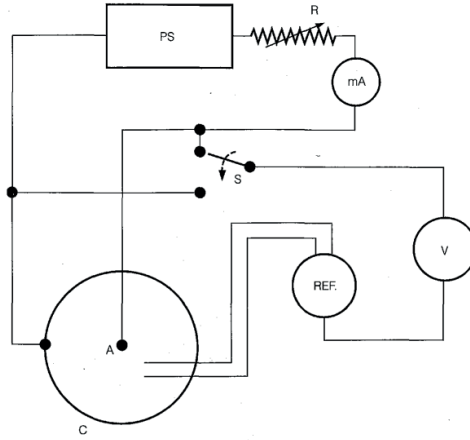
Şekil 5. Korozyona uğrayan M ( anot ) ve N ( katot ) metalleri arasındaki bir galvanik ikilide şematik polarizasyon [9].

### 3.5. Sıfır Direnç Ampermetreler

Şekil 6'da belirtildiği gibi, anot ve katot potansiyellerinin eşit olduğu anodik ve katodik polarizasyon eğrilerinin kesişme noktasında ikili akım mevcuttur. Arada herhangi bir yardımcı alet olmaksızın kısaltılmış galvanik ikilide de anot ve katot potansiyelleri eşittir. Bu yüzden Şekil 8'deki  $I_{ikili}$  kısaltılmış bir galvanik ikilideki akımdır. Burada  $R_m$  sayaç direncidir. Bu yüzden anot ve katot potansiyelleri  $IR_m$  tarafından ayrılır ve  $I$  beklenen  $I_{ikili}$  değerinden daha küçüktür.

Anot ve katot arasında direnç olmaması için düzenek ayarlanabildiğinden Şekil 6'daki devre sıfır direnç ampermetre ( ZRA ) olarak ifade edilir. Güç kaynağı ( PS ), her zamanki  $IR_m$  omik kaybı karşılamaktadır ve ikili anot ( A ), ve katot ( C ), arasındaki potansiyel farkın sıfır olduğu yerde ölçülür. Yüksek empedans voltmetre ( V ), basit bir ZRA'da anot ve katot arasındaki potansiyel

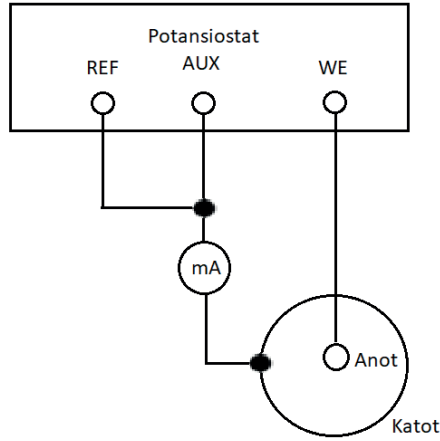
fark için yeterlidir. Şekil 6'da, referans elektrod ( REF ), Şekil 8'deki polarizasyon eğrilerini elde etmek için kullanılmaktadır.



**Şekil 6.** Pirinç ( katot ), çelik ( anot ) galvanik ikilide elektrokimyasal ölçümler için galvanostatik polarizasyon devresi [10].

Galvanostatik ZRA, bir galvanik ikilideki  $I_{ikili}$ 'nin periyodik olarak ölçülmesi için kullanılır. Ancak ikili akımını sürekli olarak kayıt etmek için kullanılamamaktadır. Anot ve katodun polarizasyon davranışı, ikili akımıyla birlikte zamana bağlı olarak genellikle değişmektedir. Böylece, anot ve katot potansiyel farkını sürekli olarak sıfırda tutmak için, ölçülen akımı değiştirmek üzere sürekli ayarlamalar gerekmektedir. Diğer yandan,  $I_{ikili}$ 'yi sürekli ve otomatik olarak ölçmek üzere devrede bir potansiyostat kolayca kullanılabilir. Potansiyostat cihazın REF ve AUX kutupları arasındaki farkı hissetmektedir. Potansiyostat, WE ve AUX kutupları arasındaki otomatik olarak değişen akım tarafından önceden ayarlanmış bir değerde farkı kontrol etmektedir. Şekil 7'de görüldüğü üzere, AUX ve REF kutupları kısaltılırsa, potansiyostat, anot A ve katot K arasındaki potansiyeli belirli bir değerde kontrol eder. Eğer bu değer sıfıra ayarlanırsa devre sürekli ve otomatik olarak, miliampermetre ( mA ) ' da kısa devre  $I_{ikili}$ 'yi okuyacaktır.

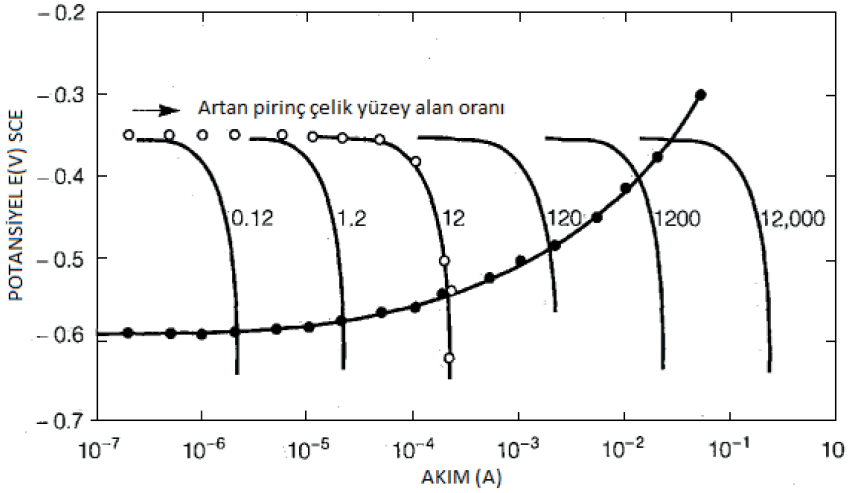




**Şekil 7.** Kısa devrede ikili akımının sürekli ve otomatik ölçümler için potansiyostatik sıfır direnç ampermetre [10].

### 3.6. Galvanik Korozyonunun Hızının Belirlenmesi

Bir galvanik ikilideki polarizasyonun daha iyi anlaşılabilmesi için verilen anodik ve katodik polarizasyon eğrileri Şekil 8.'de görülmektedir. Şekil 8.'de yüzey alan oranları sırasıyla 12:1 olan pirinç ve çelik için oda sıcaklığında havalandırılmış % 20 NaCl'de deneysel katodik (o) ve anodik (●) polarizasyon eğrileri görülmektedir [11]. Ancak elektrokimyasal polarizasyon, akım dağılımı tek düze olduğu sürece polarizasyon akımının kaynağına bağlı değildir. Böylece, anot ve katot için olan deneysel polarizasyon eğrileri, geleneksel galvanostatik ve potansiyostatik yöntemlerle birbirinden bağımsız olarak ölçülebilir. Ayrıca bu eğriler tek düze akım dağılımı ile galvanik bir ikilideki galvanik akımı tahmin etmek için kullanılabilir.



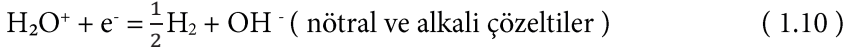
**Şekil 8.** Oda sıcaklığında havalandırılmış % 20 NaCl çözeltisinde pirinç ve çelik için katodik ve anodik polarizasyon eğrileri [ 11 ].

Galvanik ikililerdeki akımı tahmin etmek için birleşik bir polarizasyon diyagramı önerilmektedir. Diyagram, belli bir elektrolit çözeltisinde çeşitli alaşımlar için anodik ve katodik polarizasyon eğrilerini içermektedir. Bu amaçla havalandırılmış 1 N  $H_2SO_4$  için polarizasyon eğrileri gösterilmiştir. Dikey eksendeki korozyon potansiyelleri listelenmiş alaşımlar için galvanik serilerden oluşmuştur. Polarizasyon eğrileri, akım veya reaksiyon hızına yeni bir boyut katmıştır [ 11 ].

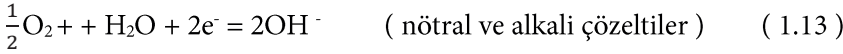
### 3.7. Katodik Reaksiyonlar

Eğer bir malzeme çözeltide elektron alıcı olarak davranıyorsa, malzemenin redoks potansiyeli metal ve metalin katyonları arasındaki denge potansiyelinden daha pozitif olmalıdır.

( 1.9 ) ve ( 1.10 ) eşitliğindeki hidrojenin oluşum reaksiyonu, ( 1.12 ) ve ( 1.13 ) eşitliğindeki oksijenin indirgenme reaksiyonu metallerin korozyonunda meydana gelen en önemli iki katodik procestir. Sulu çözeltilerde her zaman için hidrojen iyonları ve su molekülleri mevcuttur ve çoğu sulu çözeltiler normal olarak atmosfer ile temasta olduğundan sulu çözeltilerde çözülmüş oksijen de mevcuttur.



$$E(\text{H}_3\text{O}^+ / \text{H}_2) = 0.00 - 0.059\text{pH} - 0.03 \text{pH}_2 \quad (1.11)$$



$$E(\text{O}_2 / \text{H}_2\text{O}) = 1.23 - 0.059\text{pH} + 0.15 \log \text{pO}_2 \quad (1.14)$$

Eğer bir çözeltide oksijen ve diğer oksitleyici maddeler yoksa, tek katodik proses hidrojenin oluşum reaksiyonu olacaktır. Eğer çözeltide az miktarda çözülmüş oksijen varsa her iki katodik reaksiyon aynı anda oluşabilir. Sonuç olarak redoks potansiyeli, çözeltinin pH'si, çözeltideki çözülmüş oksijen konsantrasyonu, sıcaklık ve reaksiyon kinetiği gibi çeşitli faktörler tarafından belirlenmektedir.

#### 4. GALVANİK KOROZYONU ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Elektrot potansiyelleri, alaşım bileşimi, korozyon sisteminin geometrisi ve elektrolitin özellikleri galvanik korozyonu etkileyen en önemli faktörlerdir [ 12 ].

Metal iyonlarının bulunduğu çözeltideki metalin standart elektrot potansiyeli, elektrokimyasal serideki metalin yerini belirler. Bunun yanı sıra, galvanik potansiyel ve incelenen ortamdaki galvanik seriler ölçülmek suretiyle malzemenin davranışı ile ilgili daha güvenilir bilgiler elde edilir.

Galvanik korozyonu etkileyen pasivasyon olayı, anodik ve katodik proseslerin kinetiği ve şekli, korozyon direnci gibi çeşitli faktörler korozyon sisteminin alaşım bileşimi ile yakından ilgilidir.

Elektrolitin özelliklerini tanımlayan faktörler; pH, oksijen içeriği, iletkenlik, sıcaklık, akım hızı ve çözeltinin hacmidir. Bu faktörler içinde en önemli olanları katodik reaksiyonun mevcudiyetini belirleyen pH ve oksijen içeriğidir.

Özellikle galvanik korozyonu etkileyen kütleli elektrolitin iki değişkeni sıcaklık ve iletkenliktir. Nerst eşitliğine göre elektrot potansiyeli sıcaklık ve elektrot iyonlarının konsantrasyonuna bağlıdır. Eğer sistemin sıcaklığı değişirse, galvanik ikilinin normal polaritesi tersine dönebilir. Bu olayın en bilinen örneği çinko kaplı yumuşak çelik ve alüminyum - demir ikilisidir.

Anottaki oksidasyonunun ve katottaki redüksiyonunun devamını sağlamak için elektrolit içinde anottan katoda doğru pozitif bir elektrik geçişi sağlanmalıdır. Eğer elektrolitin iletkenliği düşükse, bir galvanik ikilinin etkin potansiyel farkı, yani korozyon itici gücü omik düşüş tarafından azaltılır. Bununla beraber, korozyon akımı azalmasında düşük iletkenliğin yararlı etkisi, uygun olmayan galvanik korozyon dağılımı tarafından tersine dönebilir. Eğer iletkenlik yüksekse, daha az kararlı metalin çözünmesi nispeten tekdüze ve geniş bir alanda gerçekleşir. Bunun tersine anodun korozyonu bimetalik bağlantı etrafında yoğunlaşmış olur. Toplam korozyon hızı, yüksek iletkenlik olduğu durumdakinden daha küçük olmasına rağmen, yüksek korozyon yoğunluğu büyük zararlara yol açabilir. Genellikle katodun anoda oranı yükseldikçe hızlı korozyon meydana gelirken, tam tersi durumda yani katodun anoda oranı düşükçe korozyon hiç olmaz veya çok yavaş olur.

## KAYNAKÇA

- [1] Solmaz R, Şahin AE, Döner A, Kardaş G.; The investigation of synergistic inhibition effect of rhodanine and iodide ion on the corrosion of copper in sulphuric acid solution. Corrosion Science; 2011;53:3231–3240.
- [2 ] [https://www.tucsa.org/tr/celik\\_yapilar\\_yazi.aspx?yazi=1118](https://www.tucsa.org/tr/celik_yapilar_yazi.aspx?yazi=1118)
- [3] Baboian R., Pohlman S., Metals Handbook Volume 13, Corrosion, P.183 , Colorado School of Mines
- [4] Selim TAŞÇI Yüksek Lisans Tezi Crn Ve TİN Kaplamaların Galvanik Korozyon Davranışı- İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü-Nisan 2000
- [5] Lawrence J. Korb, Rockwell, Metals Handbook Volume 13, Corrosion, P.188 , Colorado School of Mines
- [6] Laboratory Corrosion Testing of Metals for the Process Industries," TM-01-69, National Association of Corrosion Engineers
- [7] Jones D.A., From D. A. Jones, Corrosion, Vol. 40, p.181, 1984, Reprinted by permission, National Association of Corrosion Engineer
- [8] Standard Recommended Practice for Applying Statistics to Analysis of Corrosion Data," G 16, Annual Book of ASTM Standards, Section 3, Vol 03.02, American Society for Testing and Materials
- [9] Jones D.A., Principles and Prevention of Corrosion,6.1-Engineering Aspects 169. Department of Chemical and Metallurgical Engineering University of Nevada, Reno -1996
- [10] Standard Method for Making Potentiostatic and Potentiodynamic Anodic Polarization Measurements, Standard Method G5-82, Annual Book of ASTM Standards.  
[11] From D. A. Jones, Corrosion, Vol. 40, p. 181, 1984, Reprinted by permission, National Association of Corrosion Engineers.)
- [12] Gemicilik Endüstrisinde Korozyon Problemi ve Katodik Koruma Uygulamaları



# BÖLÜM 19

## **DÜZLEM İÇİ YÜK ETKİSİNDEKİ AÇILI FİBER KOMPOZİT PLAKTA GERİLME ANALİZİ**

*Emre YILMAZ<sup>1</sup>*



---

<sup>1</sup> Öğr. Gör.  
İstanbul Aydın Üniversitesi  
Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-5209-0368>  
E-mail: emreyilmaz14@aydin.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Kompozit malzeme, makroskobik düzeyde bir araya getirilen ve birbiri içinde çözünmeyen iki veya daha fazla bileşenden oluşan yapı malzemesidir. Bileşenlerden birine takviye elemanı diğerine ise matris adı verilir. Takviye fazının malzemesi fiber, pul veya parçacık formunda olabilir. Matrisin malzemeleri ise genellikle sürekli bir yapıya sahiptir (Kaw, 2006). Kompozit malzemenin hafiflik, yüksek rijitlik, yüksek korozyon direnci, yüksek mukavemet/ağırlık oranı gibi avantajlı özellikleri yüksek performanslı uygulamalar için önemlidir. Monolitik malzemelerin sahip olmadığı bu özellikleriyle kompozit malzemeler günümüz ileri teknolojilerinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Aynı zamanda, kompozit malzemelerin özellikleri, elemanlarının özelliklerinin, boyutunun, takviye malzemelerinin yapısının, şeklinin, miktarının, dağılımının ve fiberlerin parçacıklarının veya yöneliminin bir fonksiyonudur (Jones, 1975). Kompozit malzemelerin otomotiv mühendisliği, robot bilimi, gemi inşa yapısı, havacılık, denizaltılar, tıbbi cihazlar, uzay navigasyonu ve birçok endüstrideki önemli uygulamaları, yapısal davranışın doğru tahmini için mükemmel bir süreçtir (Maji ve Mahato, 2022).

Mühendislik ürünlerinin tasarım aşamasında kompozit malzemelerin daha yaygın olarak benimsenmesi, deformasyonlara ilişkin bilgi düzeyiyle doğrudan ilişkilidir. Özellikle bu noktada kompozit malzemelerin yapısal modelleme problemi karşımıza çıkmaktadır. Genellikle deformasyona neden olan şok yüklerin etkisi altında yapısal malzeme ve elemanların delaminasyonudur. Bu durum kompozit malzemeler üzerinde çalışmanın önemini, uygunluğunu ve onunla özel proseslerin geliştirilmesi ihtiyacını göstermektedir (Smith, 1998). Kompozit plakalar yoğun dinamik yüklere maruz kalabilen yapılardır. Kanonik olmayan plakaların yük altındaki davranışına yönelik araştırma yöntemlerinden biri sonlu elemanlar yöntemidir. Teorik yöntemlerin yeterince geliştirilememiş olması, deformasyon sürecini açıklayan matematiksel modellerin karmaşıklığından ve



kısa vadeli etkilerin yoğun olmasından kaynaklanmaktadır (Smetankina vd., 2021).

Anizotropik olarak adlandırılan malzemeler her yönde farklı mekanik özellikler gösterir; yani tüm düzlemlerine veya eksenlerine göre simetrik değildir. Ortotropik malzemeler, iki düzlem arasında simetri gösteren anizotropik malzemelerin bir alt kümesidir; genel olarak fiberlere paralel olan düzlem, ortotropik dik düzlemlerle karşılaştırıldığında önemli ölçüde üstün özelliklere sahiptir (Müzel vd., 2020).

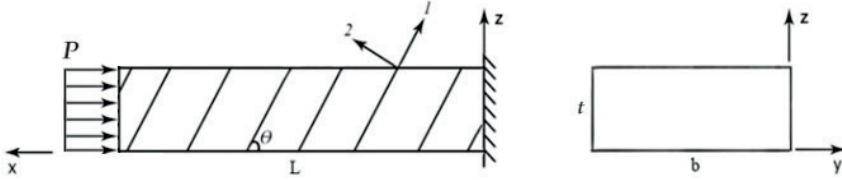
Veriye dayalı yaklaşım, hesaplamalı analizin yeni ortaya çıkan bir alanı ve matematiksel modellemeye yönelik klasik bir yaklaşımdır. Deforme olabilen bir ürünün mekaniğinde geleneksel yöntemin ortak özelliği, tasarıma özgü modellerin formülasyonudur. Bu tür modeller, bir dizi fiziksel deneyin sonuçlarıyla belirlenecek değişkenleri veya işlevleri içerir. Homojen malzemeler geleneksel yöntem yaklaşımında çeşitli zorluklar ortaya çıkarmaktadır. İç yapısal heterojenlik ve heterojen malzemelere ilişkin problemler ve deneysel verilerin önemli dağılımı üzerine bir dizi temel deney vardır. Kompozit malzemeler, özellikle modern üretim teknolojisi, yapısında bulunan bileşenlerin stabil bir şekilde elde edilmesine olanak vermemektedir. Bu gibi durumlarda sayısal işlem yöntemlerinin kullanılması, malzeme parametrelerinin yanlışlığının tanımlanması sorunları, modellerde dikkate alınması gereken önemli konulardır (Sousa vd., 2016). Yeni bilgi işlem paradigmasını kullanmak, büyük miktarları doğrudan kullanmanıza olanak tanır. Süreklilik mekaniğinin sınır değer problemlerinin sayısal çözümünde deneysel veriler dikkate alınır. Bu, malzeme modellerinin yanlış modellenmesi ve formülasyondaki hatalar olasılığını ortadan kaldırır (Lvov ve Kostromytska, 2020).

Yük etkisindeki bir malzeme gerilmeler ve sonucunda deformasyon istenmeyen bir durumdur. Tasarım parametreleri ve malzeme yapısı deformasyonu etkileyen en önemli iki faktördür. Bu nedenle tasarımı nihai ürüne dönüştürmeden önce gerilme-deformasyon analizleri yapılmalı ve

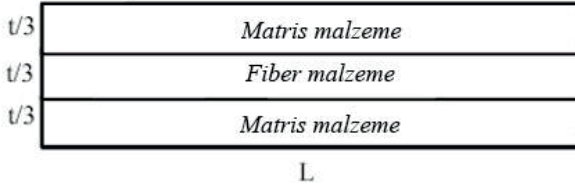
proses koşullarına uygunluğu değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, grafit fiber epoksi matris, aramid fiber epoksi matris, cam fiber epoksi matris konsol kompozit plakların fiber açıları için düzlem içi yük altındaki mekanik davranışları, sonlu elemanlar yöntemine dayalı simülasyon (FEM) ile Von Mises Akma Kriteri kullanılarak incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Şekil 1'de düzlem içi toplam P yükü etkisinde fiber takviyeli kompozit plakanın geometrisi ve Şekil 2'de sandviç kompozit plakanın katman geometrisi bulunmaktadır.



Şekil 1. Düzlem içi yük etkisinde konsol kompozit plakanın geometrisi



Şekil 2. Sandviç kompozit plakanın katmanları

Şekil 1'de 1-2 numaralı eksenler fiberlerin eksenlerini, x,y,z kompozit plakanın eksenlerini,  $\theta$  fiber açılarını, L plakanın uzunluğunu, t plakanın yüksekliğini ve b plakanın genişliğini temsil etmektedir. Kompozit plakanın yapısı kompozit tip olarak sandviç kompozittir. Sandviç kompozit malzeme

iki kat matris malzeme ve bir kat fiber malzemeden oluşur (Şekil 2). Yapısı sırasıyla matris malzemesi, fiber malzemesi, matris malzemesi şeklindedir.

Kompozit plakanın boyut ve plakaya uygulanan yük özellikleri Tablo 1'de, epoksi malzemelerin, aramid fiberin, grafit fiberin, cam fiberin mekanik özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

*Tablo 1. Sandviç kompozit plakanın boyut ve uygulanan yük özellikleri*

<b>P (N)</b>	<b>L (mm)</b>	<b>t (mm)</b>	<b>b (mm)</b>
500	300	15	100

*Tablo 2. Epoksi matris ve fiber malzemelerin mekanik özellikleri (Kaw, 2006)*

<b>Mekanik özellikler</b>	<b>Grafit Fiber</b>	<b>Cam Fiber</b>	<b>Aramid Fiber</b>	<b>Epoksi Matris</b>
Boyuna modül (GPa)	230	85	124	3.4
Enine modül (GPa)	22	85	8	3.4
Boyuna poisson oranı	0.30	0.20	0.36	0.3
Enine poisson oranı	0.35	0.20	0.37	0.3
Boyuna kesme modülü (GPa)	22	35.42	3	1.308
Boyuna çekme mukavemeti (MPa)	2067	1550	1379	72
Boyuna basınç dayanımı (MPa)	1999	1550	276	102
Enine çekme mukavemeti (MPa)	77	1550	7	72
Enine basma mukavemeti (MPa)	42	1550	7	102
Kesme mukavemeti (MPa)	36	35	21	34

## 2.1. Sonlu Elemanlar Yöntemi

Sonlu elemanlar yöntemi (FEM), kabuk ve plak yapılarının hesaplanması da dahil olmak üzere mühendislik ve matematiksel fizik problemlerini çözmek için kullanılan bir sayısal yöntemdir. Avantajları olarak karmaşık geometrinin doğru gösterimi farklı malzeme özelliklerinin dahil edilmesi

toplam çözümün kolay gösterimi, yerel efektlerin yakalanması sıralanabilir. FEM'in pratik uygulaması sonlu elemanlar analizi (FEA) olarak bilinir. Mühendislikte uygulanan FEA, mühendislik analizi gerçekleştirmek için kullanılan hesaplamalı bir araçtır. Karmaşık bir problemi küçük öğelere bölmek için ağ oluşturma tekniklerinin kullanımının yanı sıra FEM algoritmasıyla kodlanmış yazılımın kullanımını da içerir. FEA, modern yazılım simülasyon yazılımının temelidir ve sonuçlar genellikle bilgisayar tarafından oluşturulan bir renk ölçeğinde gösterilir.

FEA'de kullanılan simülasyonlar, değerlendirilen yapının şeklini oluşturmak için bir araya gelen milyonlarca küçük öğeden oluşan bir ağ kullanılarak oluşturulur. Bu küçük elemanların her biri hesaplamalara tabi tutulur ve bu ağ iyileştirmeleri bir araya getirilerek tüm yapının nihai sonucu elde edilir. Bu yaklaşık hesaplamalar genellikle polinomdur; küçük elemanlar arasında enterpolasyonlar meydana gelir; bu, değerlerin tüm noktalarda olmasa da bazı noktalarda belirlenebileceği anlamına gelir. Değerlerin belirlenebildiği noktalara düğüm noktaları adı verilir ve genellikle elemanın sınırında bulunabilir (Nguyen vd., 2019).

### 2.1.1. FEM İçin Düğüm Parametreleri ve Yer Değiştirme Fonksiyonları

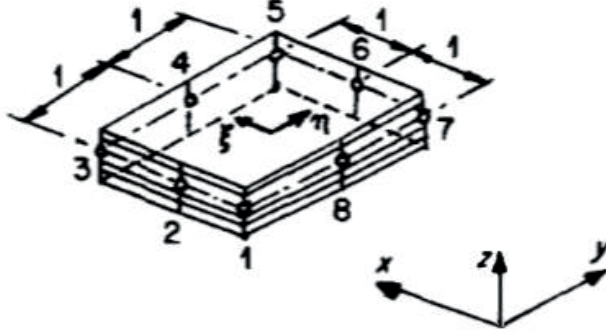
İkinci dereceden çok katmanlı kompozit plaka bileşeni Şekil 3'tedir. Referans  $xy$  düzlemi yan yer değiştirmeleri  $w_j$ ,  $j$  düğümünün yer değiştirme bileşenleri  $v_{0j}$ , her katmandaki düzlem içi yer değiştirmeler  $u_{0j}$ , normal dönmeler  $\theta_{xij}$ 'den meydana gelir. Bunlar vektör tarafından meydana gelebilir:

$$\{\delta_j\} = \{u_{0j}, v_{0j}, w_j, \theta_{x1j}, \theta_{y1j}, \theta_{x2j}, \theta_{y2j}, \dots, \theta_{xmj}, \theta_{ymj}\}^T \quad (1)$$

vektöre göre eleman yer değiştirmesi

$$\{\delta\} = \{\delta_1, \delta_2, \dots, \delta_8\}^T \quad (2)$$

burada m toplam katman sayısıdır.



Şekil 3. İkinci dereceden çok katmanlı kompozit plaka elemanı (Mawenya ve Daveis, 1974)

i. katmandaki herhangi bir noktanın (x, y, z) yer değiştirmelerini düğüm yer değiştirmeleri cinsinden tanımlamak için aşağıdaki gibi bir şekil fonksiyonu tanımlanmıştır (Mawenya ve Daveis, 1974):

$$u = \sum_{j=1}^8 N_j \left\{ u_{0j} - qt_1 \theta_{x1j} - \sum_{p=2}^{i-1} t_p \theta_{xpj} - \left( \frac{1}{2} t_i + z_i \right) \theta_{xij} \right\} \quad (3)$$

$$v = \sum_{j=1}^8 N_j \left\{ v_{0j} - qt_1 \theta_{y1j} - \sum_{p=2}^{i-1} t_p \theta_{ypj} - \left( \frac{1}{2} t_i + z_i \right) \theta_{yij} \right\} \quad (4)$$

$$w = \sum_{j=1}^8 N_j w_j \quad (5)$$

burada  $N_j$  basit izoparametrik şekil fonksiyonlarıdır, aşağıdaki denklemlere göre  $n$   $\xi$  ve  $\mu$  koordinatlarıdır. Köşe düğümlerinde ise şekil fonksiyonu şöyledir (Mawenya ve Daveis, 1974):

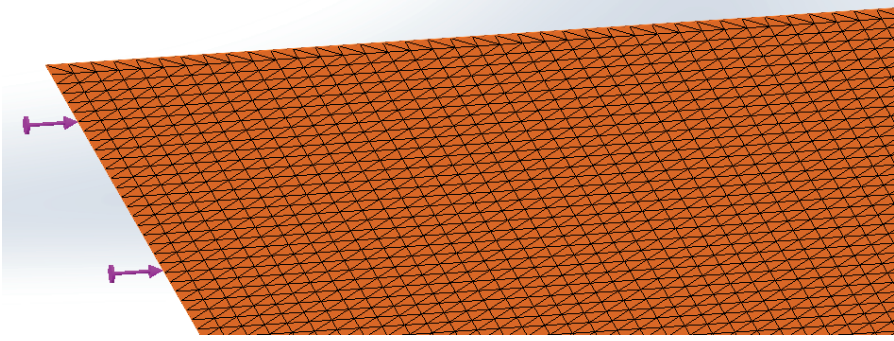
$$N_j = \frac{1}{4}(1 + \xi_0)(1 + \mu_0)(\xi_0 + \mu_0 - 1) \quad (6)$$

## 2.2. Kompozit Plakta FEA Yöntemiyle Gerilme Analizi

Şekil 4, sonlu elemanlar yöntemi temelli analiz simülasyonu kullanılarak analiz edilen düzlem yükü etkisindeki kompozit plakayı göstermektedir. Bu analizde, Tablo 1'de sandviç kompozit plakanın boyut ve yük özellikleri, Tablo 2'de epoksi matris ve fiberlerin mekanik özellikleri ve Şekil 1-2'de bulunan yapı kullanılmıştır. Gerilme analizi Von Mises Kriteri'ne göre yapılmıştır. Kompozit plakanın 2 mm trigonal mesh yapısı olarak uygulanan mesh geometrisi Şekil 5'te bulunmaktadır.



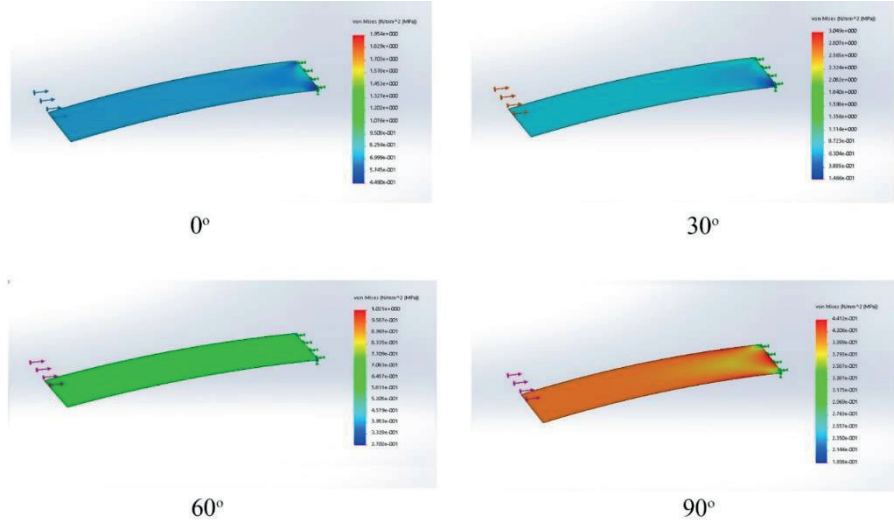
Şekil 4. Sınır koşulları uygulanan kompozit plaka modeli



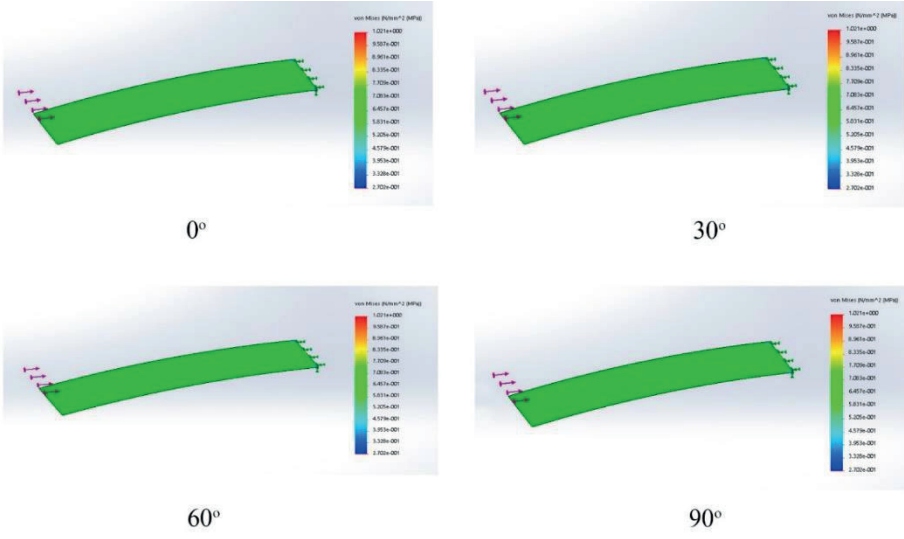
Şekil 5. Kompozit plakanın mesh uygulanmış geometrisi

### 3. BULGULAR

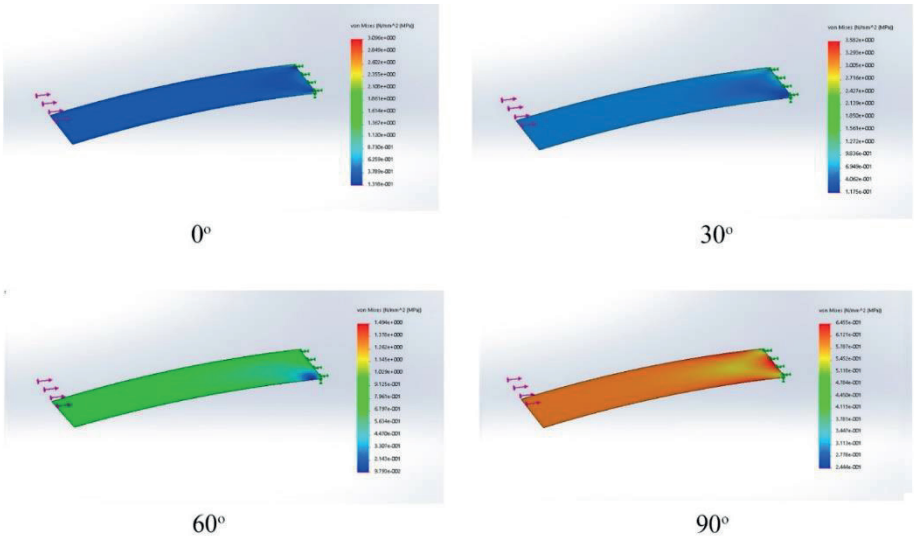
Grafit fiber epoksi matrisli sandviç kompozit plakanın fiber açlarına ilişkin gerilme sonuçları Şekil 6'da, cam fiber için gerilme sonuçları Şekil 7'de ve aramid fiber için gerilme sonuçları Şekil 8'de gösterilmektedir.



Şekil 6. Grafit fiber epoksi matrisli sandviç kompozit plakanın fiber açlarına göre gerilme analizi sonuçları



Şekil 7. Cam fiber epoksi matrisli sandviç kompozit plakanın fiber açılara göre gerilme analizi sonuçları



Şekil 8. Aramid fiber epoksi matrisli sandviç kompozit plakanın fiber açılara göre gerilme analizi sonuçları



Kompozit plakaların fiber açlarına ait maksimum gerilme analizi değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

*Tablo 3. Kompozit plakaların fiber açlarına göre maksimum gerilme değerleri*

Fiber Açısı (derece)	Grafit Fiber Epoksi Matris (MPa)	Cam Fiber Epoksi Matris (MPa)	Aramid Fiber Epoksi Matris (MPa)
0	1.954	1.021	3.096
30	3.049	1.021	3.582
60	1.562	1.021	1.494
90	0.441	1.021	0.645

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Analiz sonuçlarına göre:

- Grafit fiber epoksi matris kompozit plakta en yüksek gerilme 30 derece fiber açısında 3.049 MPa değerindedir
- Aramid fiber epoksi matris kompozit plakta en yüksek gerilme 30 derece fiber açısında 3.582 MPa değerindedir
- Cam fiber epoksi matrisli kompozit plakta, cam fiberin mekanik özellikleri nedeniyle farklı fiber açlarında gerilme değerleri sabit kalmıştır
- Grafit, cam ve aramid fiber kompozit plaklar karşılaştırıldığında en yüksek maksimum gerilme 30 derece fiber açısında 3.582 MPa değeriyle aramid fiber kompozit plakta, en düşük maksimum gerilme ise 90 derece fiber açısında 0.441 MPa değerinde grafit fiber kompozit plakta görülmüştür

İlgili tasarımda grafit fiber tercihi yapılacaksa en düşük gerilmeler için fiberlere 90 derece açı uygulanmalı, cam fiber tercihi yapılacaksa fiberlere açı uygulanmamalı, aramid fiber tercihi yapılacaksa 90 derece açı uygulanmalıdır. Üç fiber çeşidi için en ideal kombinasyon olarak 90 derece fiber açısında 0.441 MPa maksimum gerilme değeriyle grafit fiber epoksi matris kompozit plakanın tercihi önerilir.

**KAYNAKÇA**

- Jones, R.M. (1975). *Mechanics of Composite Materials*, Mc.Graw-Hill, Kogahusha, Tokyo.
- Kaw A. (2006). *Mechanics of Composite Materials*, LLC.
- Lvov G., Kostromytska O. (2020). A Data-Driven Approach to the Prediction of Plasticity in Composites, *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering*, 3-10.
- Maji A., Mahato K.M. (2022). Development and applications of shear deformation theories for laminated composite plates: An overview, *Journal of Thermoplastic Composite Materials*, 35(12), 2576-2619.
- Mawenya, A.S., Daveis, J.D. (1974). Finite element bending analysis of multilayer plates, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 8, 215-225.
- Müzel S., Bonhin E., Guimaraes N., Guidi E. (2020). Application of the Finite Element Method in the Analysis of Composite Materials: A Review, *Polymers*, 12(4), 888.
- Nguyen H., Cabh T., Thanh T., Ke T., Phan V., Thom D. (2019). Finite Element Modelling of a Composite Shell with Shear Connectors, *Symmetry*, 11(4), 527.
- Smetankina N., Merkulova A., Merkulov D., Postny O. (2021). Dynamic Response of Laminate Composite Shells with Complex Shape Under Low-Velocity Impact, *Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering*, 267-276.
- Smith W. F. (1998). *Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais*, Lisboa: McGraw-Hill de Portugal Ltda.
- Sousa, F.K., Ujike, I., Kadota, A. (2016). Effect of Different Fiber Angles for Composite Material with Fiberglass Reinforced on Mechanical Properties, *International Journal of Mining, Metallurgy and Mechanical Engineering*, 4(1), 1-6.