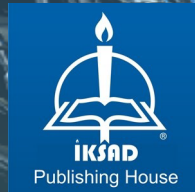


# YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENİMİ İLE MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

EDİTÖRLER

Merivan ŞAŞMAZ

Elif Cansu ASLANTUĞ (Yardımcı Editör)



# YAPAY ZEKÂ VE MAKİNE ÖĞRENİMİ İLE MÜHENDİSLİKTE YENİLİKÇİ YAKLAŞIMLAR

## EDİTÖRLER

Merivan ŞAŞMAZ

Elif Cansu ASLANTUĞ (Yardımcı Editör)

## YAZARLAR

Prof. Dr. Elif ORHAN

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL

Doç. Dr. Serap AKCAN YETGİN

Dr. Günay TEMÜR

Betül ERSÖZ

Yük. Müh. Güven NERGİZ

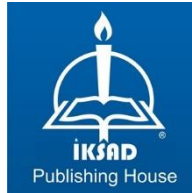
Sümeyye ÇARKIT

Ömer Faruk GÜLCEMAL

Sanem AYDAR

Vekil SARI

Volkan GÖREKE



Copyright © 2024 by iksad publishing house  
All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or  
transmitted in any form or by  
any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical  
methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of  
brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses  
permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social  
Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2024©

**ISBN: 978-625-378-117-0**

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2024

Ankara / Türkiye

Size = 16x24 cm

## İÇİNDEKİLER

### ÖNSÖZ

*Editörden*..... 1

### BÖLÜM 1

#### BİLİM VE TEKNOLOJİDE DÖNÜŞÜMÜN GÜCÜ: YAPAY ZEKÂ

*Betül ERSÖZ*

*Prof. Dr. Elif ORHAN* ..... 5

### BÖLÜM 2

#### ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ METODOLOJİSİ VE ENDÜSTRİDE KULLANILABİLİRLİĞİ

*Sanem AYDAR*

*Doç. Dr. Serap AKCAN YETGİN* ..... 33

### BÖLÜM 3

#### VERİ YAPILARI ÜZERİNE DERLEME: TEORİK YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMA PERSPEKTİFLERİ

*Dr. Günay TEMÜR* ..... 61

### BÖLÜM 4

#### ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN AKI ANAHTARLAMALI MOTOR ÇEŞİTLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

*Sümeyye ÇARKIT* ..... 89

### BÖLÜM 5

#### ELEKTRİK MOTORLARININ ARIZALARININ TESPİTİNDE YAPAY ZEKÂ YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI

*Vekil SARI*

*Volkan GÖREKE* ..... 105

## **BÖLÜM 6**

### **EGE DENİZİ İÇİN SABİT VE YÜZER RÜZGÂR TÜRBİNİ TİPLERİNİN BELİRLENMESİ: ÖN ARAŞTIRMA**

*Yük. Müh. Güven NERGİZ*

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL* .....123

## **BÖLÜM 7**

### **FARKLI GEMİ TİPLERİ ÖRNEĞİNDE DENİZ TAŞIMACILIĞINDA KARBON SALINIMININ SINIRLANDIRILMASI**

*Ömer Faruk GÜLCEMAL*

*Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL* .....147

## ÖNSÖZ

Bu kitap, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi hızla gelişen alanların mühendislikte sunduğu yenilikçi çözümleri derinlemesine incelemeyi hedeflemektedir. Alanında uzman yazarlar tarafından hazırlanan her bölüm, teoriyi ve pratik uygulamaları bir araya getirerek mühendislik disiplinlerine dair kapsamlı bir kaynak sunmaktadır. Bu eser, mühendislikteki dönüşümü anlamak ve ileriye taşıma amacına hizmet etmektedir.

1. Bölüm: ***Bilim ve Teknolojide Dönüşümün Gücü: Yapay Zekâ:*** Yapay zekâ, bilimsel ve teknolojik devrimlerin temel itici gücüdür ve bu çalışma, disiplinler arası iş birliği ile sağlanan yenilikçi katkıları ele almaktadır. Yapay zekâ uygulamalarının etik ve hukuki boyutları, sürdürülebilir gelişim için kritik öneme sahiptir. Bu bölüm, modern bilimdeki dönüşümü anlamada temel bir kaynaktır.

2. Bölüm: ***Çevik Proje Yönetimi Metodolojisi ve Endüstride Kullanılabilirliği:*** Çevik proje yönetimi, verimli ve esnek projeler oluşturmak için önemli bir yaklaşımdır ve endüstride uygulanabilirliği giderek artmaktadır. Bu metodolojinin sunduğu sürekli işbirliği, sektörlerin değişen ihtiyaçlarına hızla cevap verilmesine olanak sağlar. Çalışma, çevik yönetim sistemlerinin endüstriyel başarıdaki rolünü vurgulamaktadır.

3. Bölüm: ***Veri Yapıları Üzerine Derleme: Teorik Yaklaşımlar ve Uygulama Perspektifleri:*** Veri yapıları, büyük veri çağında verimli işlem ve analizlerin temelini oluşturur. Bu çalışma, modern veri yapılarının teorik temellerini ve pratikteki uygulama örneklerini kapsamlı bir şekilde sunmaktadır. Endüstriyel verimlilik ve veri işleme süreçlerinde kritik bir rol oynamaktadır.

4. Bölüm: ***Elektrikli Araçlarda Kullanılan Akı Anahtarmalı Motor Çeşitleri Üzerine Bir İnceleme:*** Elektrikli araçlarda kullanılan akı anahtarlama motorlar, verimlilik ve düşük gürültü gibi avantajları ile sektördeki önemli yeniliklerden biridir. Bu çalışma, AAM'lerin teknolojik gelişimini ve potansiyel uygulama alanlarını detaylandırmaktadır. Motor verimliliğini artırmak için kritik bir kaynaktır.

5. Bölüm: **Elektrik Motorlarının Arızalarının Tespitinde Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılması:** Yapay zekâ, elektrik motorlarının arıza tespitinde devrim niteliğinde bir rol oynamaktadır. Bu çalışma, erken arıza tespiti ile üretimdeki aksaklıkları önleyerek güvenliği ve ekonomik verimliliği artırmayı hedeflemektedir. Yapay zekâ destekli arıza tespiti, endüstriyel üretim süreçlerinin güvenliğini sağlamak adına büyük önem taşımaktadır.

6. Bölüm: **Ege Denizi İçin Sabit ve Yüzer Rüzgâr Türbini Tiplerinin Belirlenmesi: Ön Araştırma:** Rüzgâr enerjisinin verimli kullanımı için doğru türbin ve temel tasarımı önemlidir. Ege kıyılarındaki rüzgâr enerjisi potansiyelini inceleyen bu çalışma, türbin verimliliğini artırmak için kritik bir yol gösterici sunmaktadır. Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisindeki büyüme hedefleri açısından önemli bir adımdır.

7. Bölüm: **Farklı Gemi Tipleri Örneğinde Deniz Taşımacılığında Karbon Salınımının Sınırlandırılması:** Bu çalışma, deniz taşımacılığındaki karbon ayak izlerini azaltmaya yönelik çözüm önerileri sunmaktadır. Yakıt tüketimi, verimli yakıt kullanımı ve sektörel işbirlikleri gibi stratejilerle sürdürülebilirlik sağlanabilir. Karbon salınımının azaltılması, deniz taşımacılığının çevresel etkilerini minimize etmek için kritik bir adımdır.

Yazarlar, bu kitabın içeriğiyle ilgili olarak sağlanan bilgi, kaynak ve sorumlulukları üstlenmişlerdir. Her bir bölüm, ilgili alanlarında uzmanlaşmış isimler tarafından yazılmış ve bilimsel verilere dayandırılmıştır. Yazarlar, özgün ve güvenilir içerik sunmaya özen göstererek, kitabın doğruluğundan sorumlu olmuşlardır.

Kitaptaki fikirler ve görüşler, yazarların kişisel bakış açıları ve uzmanlık alanlarına dayanmaktadır ve bu nedenle kitap editörünün veya yayınevinin resmi görüşlerini yansıtmayabilir. Yazarlar, bağımsız araştırmalarına dayalı olarak bu eseri hazırlamış ve içerik hakkında tam sorumluluk taşımaktadırlar. Editör ve yayınevi, düzenleme sürecinde rehberlik sağlasa da, içerikteki her fikir yazarların kendilerine aittir.

Bu kitap, titiz bir çalışma ve fedakârlık sürecinin sonunda ortaya çıkmıştır. Yazarlar, alanlarındaki derin bilgi ve deneyimlerini paylaşarak eserin değerine katkıda bulunmuşlardır. IKSAD Yayın Evi'nin desteği, kitabın yayınlanmasını mümkün kılmış ve bu desteğe içtenlikle teşekkür ediyoruz. Ayrıca, bu eseri teknik konulara ilgi duyan ve bilgiye meraklı tüm okuyucularımıza sunmaktan mutluluk duyuyoruz. Kitabın, araştırmalarınıza

katkı sağlamasını ve bilgi birikiminizi pekiştirmesini umuyoruz. Emeği geçen herkese teşekkür eder, bu çalışmanın teknik alanlardaki gelişmeleri desteklemesine katkı sağlamak dileğiyle kutlarız.

Editör  
Doç. Dr. Merivan ŞAŞMAZ





# BÖLÜM 1

## BİLİM VE TEKNOLOJİDE DÖNÜŞÜMÜN GÜCÜ:

### YAPAY ZEKÂ

Betül ERSÖZ<sup>1</sup>

Prof. Dr. Elif ORHAN<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556439>

---

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, Ankara, Türkiye.  
betul.ersoz@gazi.edu.tr .Orcid ID:0000-0001-6221-1530

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, Ankara, Türkiye.  
eliforhan@gazi.edu.tr .Orcid ID: 0000-0002-3949-6141



## GİRİŞ

Bu kitap bölümünde, bilimde yapay zekânın (YZ) yükselen rolü ve bu teknolojinin sunduğu fırsatlar, karşılaşılan zorluklarla birlikte bir derleme çalışması ele alınacaktır. YZ'nin bilimsel keşiflerdeki artan kullanımı, özellikle büyük dil modelleri gibi yenilikçi YZ araçlarının etkisiyle hız kazanan uygulamalar ve giderek yaygınlaşan kullanım alanları üzerinde durulacaktır. Ayrıca, YZ'nin patentlenme süreçlerine etkisi ve şirket inovasyonundaki rolü de analiz edilecektir.

2010'lu yıllarda, devasa ve karmaşık bilimsel veri kümelerindeki kalıpları tanıma ve analiz etme konusundaki yeteneklerin hızla gelişmesi, bilimsel araştırmalarda önemli bir dönüşüm başlatmıştır (European Commission, 2023; OECD, 2023; OECD, 2024). Bu dönemde, makine öğrenimi algoritmalarının ve veri madenciliği tekniklerinin evrimi, araştırmacılara daha önce keşfedilemeyen kalıplara ulaşma imkânı sunmuştur (LeCun vd., 2015; Sarker, 2021). Ancak, 2020'lerle birlikte YZ alanındaki devrim, yalnızca veri analiziyle sınırlı kalmayıp, aynı zamanda sentetik veri üretimi ve yaratıcı çözümleme gibi alanlarda da eşsiz bir dönüşüm başlatmıştır (Merchant vd., 2023). Özellikle son yıllarda, uygulamaları ve kullanımı artan üretken YZ araçları, sinir ağları aracılığıyla eğitildikleri verilerin istatistiksel dağılımlarından gerçeğe yakın, ikna edici çıktılar üreterek bilimsel süreçleri hızlandırmakta ve araştırmaların verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Liu vd., 2023). YZ'nin bilimsel araştırmalara entegrasyonu, araştırma süreçlerinde verimlilik ve hız açısından oldukça etkili bir değişim sağlamaktadır (Füller vd., 2022; The Royal Society, 2017). Bilim insanları, YZ'yi hipotez üretimi, deney tasarımı, büyük veri kümelerinin toplanması ve yorumlanması gibi aşamalarda kullanarak daha önce ulaşılması imkânsız olan içgörülere ulaşabilmektedirler (The Royal Society, 2017). YZ, bilimsel üretkenliği artırmak, insan bilişsel yeteneklerini geliştirmek ve çığır açan buluşları hızlandırmak için önemli bir araç haline gelmiştir (Brock & von Wangenheim, 2019; OECD, 2023). Özellikle büyük veri kümelerinin analizi, tahminler üretme ve modelleme gibi alanlarda YZ'nin gücü, bilimsel keşiflerin hızını ve doğruluğunu artırmıştır (Füller vd., 2022). Veri toplama ve

analiz süreçlerinin otomatikleştirilmesi, araştırmacılara daha stratejik ve yaratıcı alanlara odaklanma imkânı sunmaktadır (Mumuni & Mumuni, 2024).

Bilimde YZ politikalarının geliştirilmesi, iki ana boyut etrafında şekillenmektedir. Birincisi, YZ kullanımını hızlandırmak ve bilim insanlarının verilere, hesaplama gücüne ve yeteneklere daha iyi erişmesini sağlamak için temel altyapıların geliştirilmesidir. İkincisi ise, YZ'nin bilimsel süreçler üzerindeki etkisini izleyerek, bilimsel bütünlük ve metodolojik titizlik gibi zorlukların üstesinden gelmeyi gerektiren denetimlerdir (European Commission, 2023; Furman & Seamans, 2019; OECD, 2023; OECD, 2024;).

YZ, görevlerin otomatikleştirilmesinden veri analizinin optimize edilmesine kadar geniş bir alanda dönüşüm sağlamaktadır. Bu dönüşüm, araştırmaların daha hızlı ve etkili bir şekilde yürütülmesini, daha derin içgörülerin üretilmesini ve daha verimli araştırma yöntemlerinin benimsenmesini sağlamaktadır (OECD, 2024). Bununla birlikte, YZ sadece bilimsel süreçlerin hızlanmasına olanak tanımakla kalmaz, aynı zamanda bilimin geniş alanını yeniden tanımlama potansiyeline sahiptir (Agrawal vd., 2024). YZ'nin sağladığı hız ve verimlilik, bilimsel ilerlemeyi önemli ölçüde hızlandırırken, toplumsal sorunların çözülmesinde yeni fırsatlar yaratmaktadır (OECD, 2024).

Sağlık alanında YZ, hastalıkların erken tespiti, tedavi yöntemlerinin kişiselleştirilmesi ve genetik analizlerin derinlemesine yapılması gibi konularda devrim yaratmaktadır (Briganti & Moine, 2020; Kaul vd., 2020). YZ destekli sistemler, genetik verilerden klinik verilere kadar geniş bir yelpazede verileri analiz ederek daha hassas tedavi planları oluşturulmasına olanak tanımaktadır (Bajwa vd., 2021). Benzer şekilde, tarım ve enerji gibi sektörlerde YZ, kaynak kullanımını optimize ederek sürdürülebilir uygulamaları teşvik etmekte ve çevresel sürdürülebilirliği destekleyen çözümler üretmektedir (Eyres vd., 2024; Mana vd., 2024).

Yeni gelişmiş malzemeler, dijital ikizler ve nükleer füzyon gibi alanlardaki yenilikler, karbon içermeyen sürdürülebilir enerji çözümleri sağlamak için büyük bir potansiyel sunmaktadır (Ahmad, 2021; IAEA 2023; Tracey vd., 2024) YZ'nin, akıllı şebekeler gibi enerji verimliliğini artıran

sistemler sayesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının daha verimli kullanılmasına olanak tanınması, çevresel etkilerin azaltılmasına yardımcı olmaktadır (Boyle, 2024; Chen, 2021; Ersöz & Bülbül,2022).

Ancak, YZ'nin benimsenmesiyle birlikte, bilimsel bütünlüğü koruma, bilimsel güveni artırma ve bölgesel eşitsizlikleri giderme gibi zorluklar da gün yüzüne çıkmaktadır (Cooper, 2023; Yusuf vd., 2024). YZ'nin küresel düzeyde eşit bir şekilde erişilebilir olmaması, bilimsel topluluklar arasında eşitsizlikleri derinleştirebilir (Kundi vd., 2023). Bu nedenle, YZ'nin bilimsel araştırmalarda etkili ve etik bir biçimde kullanılabilmesi için küresel işbirliği ve eşitlikçi politikaların geliştirilmesi önemlidir (Perkins vd., 2023).

### **1.1. Bilimde Yapay Zekâ: Fırsatlar ve Zorluklar**

YZ, temel araştırmalarda büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle matematiksel modelleme, simülasyonlar ve algoritma geliştirme süreçlerinde bilim insanlarına yardımcı olabilmektedir. Ayrıca, YZ'nin temel araştırmalarda bilim insanlarının hipotez oluşturma süreçlerini hızlandırabileceği ve deneysel sonuçların doğruluğunu artırabileceği görülmektedir. Ancak, temel bilimlerde YZ'nin kullanımı, klasik yöntemlere kıyasla daha karmaşık süreçler gerektirmektedir. Bu bağlamda, YZ'nin en büyük katkılarından biri, geniş ve karmaşık veri setlerini analiz ederek yeni hipotezler oluşturma yeteneğidir. YZ destekli araçlar, deneysel sonuçların analizinde ve modelleme çalışmalarında yeni yaklaşımlar geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (Allen, 2020; Warwick, 2013).

Yayınlanmış akademik çalışmalar, YZ uygulamalarının çoğunlukla STEM (Bilim, Teknoloji, Mühendislik ve Matematik) alanlarında yer aldığını göstermektedir. Tıp, malzeme bilimi, robotik, genetik ve bilgisayar bilimleri gibi alanlarda YZ uygulamaları yoğunlaşmıştır. YZ teknolojilerinin kullanımında özellikle fen bilimleri ve tıp ön plandadır (Eyres vd., 2024). STEM alanlarında en öne çıkan YZ teknikleri arasında makine öğrenimi (ML), derin öğrenme (DL), doğal dil işleme (NLP), görüntü ve ses tanıma yer almaktadır. DL yöntemi, ML yöntemine kıyasla büyük verilerle daha iyi performans göstermektedir. Ham verilerden özellikleri otomatik olarak çıkarma, geniş veri kümelerini işleme ve kalıpları tanıma yeteneği, doğrusal

ML tabanlı modelleri geride bırakmaktadır (Choudhary, Fox, & Hey, 2023). Örneğin, Google DeepMind tarafından geliştirilen, biyolojik proteinlerin amino asit dizilimlerine dayanarak 3 boyutlu yapısını tahmin eden YZ tabanlı sistem AlphaFold, 2020 yılında biyoloji alanında devrim niteliğinde bir buluş olarak kabul edilmiştir (Perrakis & Sixma, 2021; Choudhary vd., 2023; Merchant vd., 2023; Sarker, 2021). Fizik, kimya ve astronomi gibi alanlarda da YZ, hızla artan veri akışlarından bilgi çıkarmak ve fiziksel deneyleri modellemek için kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, büyük veri setlerinde kalıpları tanımlamak ve deney sonuçlarını öngörmek amacıyla etkin bir şekilde kullanılmaktadır.

Sağlık bilimlerinde, YZ'nin tıp, diş hekimliği ve veteriner bilimlerinde hastalık tespiti ve tahminine yardımcı olma, klinik karar verme süreçlerini destekleme ve cerrahi ile robotik alanlarda iyileştirme sağlama potansiyeli öne çıkmaktadır. Yaşam bilimlerinde ise, sensörlerden gelen verileri analiz ederek su ve enerji yönetimini desteklemek için kullanılmaktadır (Briganti & Le Moine, 2020; Kaul, Enslin, & Gross, 2020).

YZ uygulamalarındaki son gelişmeler, bilimsel araştırma yöntemlerinde dönüşümsel değişiklikler meydana getirme potansiyeline işaret etmektedir. Bu değişiklikler, mevcut görevleri daha verimli hale getirme, bilgi üretme süreçlerini dönüştürme ve yeni keşif mekanizmaları oluşturma üzerine odaklanmaktadır. Ancak, yapılandırılmamış verilerden içgörü elde etmek, araştırmacılar için önemli bir zorluk teşkil etmektedir. Yapılandırılmamış veriler, belirli bir format veya yapıya sahip olmadığından, işlenmesi ve yönetilmesi zordur. Bu tür verileri işleyebilme yeteneği, derin öğrenme (DL) yöntemlerinin özellikle görüntü tanıma ve doğal dil işleme (NLP) gibi görevlerde etkili olmasını sağlamaktadır. Örneğin, sağlık hizmetlerinde veriler ayrıntılı ve parçalı olabilir, bu da görüntüler, metin değerlendirmeleri veya sayısal değerler gibi çeşitli veri türlerini içerir. Bu verileri bir araya getirmek ve anlamlandırmak, araştırmacıların tahminler yapmasına ve olası sağlık müdahalelerini modellemesine olanak tanır (Mak, Wong, & Pichika, 2023). Evrişimli sinir ağları (CNN), MRI görüntülerini işlemek ve kanser varlığını tahmin etmek için kullanılabilir. Tekrarlayan sinir ağları (RNN) gibi diğer teknikler, ardışık yapıların tahmin edilmesi gereken bilimsel uygulamalarda ve finans sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. YZ'nin diğer yaygın

uygulamaları arasında boyut azaltma, kümeleme, veri artırma ve görüntü süper çözünürlüğü yer almaktadır. Boyut azaltma ve kümeleme, verilerdeki gizli özellikleri ortaya çıkarmak için etkili yöntemlerdir ve genellikle diğer tahmin görevlerinden önce verileri keşfetmenin ve görselleştirmenin ilk adımındır. Görüntü süper çözünürlüğü ve veri sıkıştırma, veri analizini kolaylaştırarak araştırmacıların depolama alanından tasarruf etmelerini sağlar (Tracey vd., 2024).

## 1.2. Bilimde Açıklanabilir Yapay Zekâ

Günümüzde makine öğrenimi, sayısız bilimsel proje ve yayında kullanılmasına rağmen, çoğunluğu yorumlanabilirlik veya açıklanabilirlik kavramlarına yeterince önem vermemektedir. ML yöntemlerini kullanarak bilimsel sonuçlar ve fikirler elde etmek oldukça değerlidir. Bilimde YZ uygulamaları geliştirilirken, bilginin biçimselleştirilmesi, karar verme süreçlerinde akıllı yürütebilen, yeni sonuçlar çıkarabilen ve açıklamalar üretebilen akıllı sistemler geliştirmek için oldukça önemlidir (Confalonieri vd., 2021).

Birçok durumda, bir YZ sisteminin kullanıcısının bir sonucun nasıl elde edildiğini bilmediği doğru olsa da bu durum sürecin tamamen açıklanamaz olduğu anlamına gelmemektedir. Bilimsel bir sonuç elde etmenin ön koşulu, açıklanabilirlik kazanmaktır. Ayrıca tutarlılığı ve şeffaflığı artırmak için gereken alan bilgisi oldukça önemlidir (Roscher vd., 2020). Ancak, doğru ve etkili derin öğrenme (DL) tabanlı modeller geliştirmek, DL'nin "kara kutu" doğası ve gerçek dünya problemlerindeki veri çeşitliliği nedeniyle zordur. Bu durum, modellerin bilimsel araçlar olarak açıklayıcı gücünü ve güvenilirliğini sınırlamaktadır. Makine öğrenme (ML) ve derin öğrenme (DL) ile oluşturulmuş modellerin çoğu, altta yatan yapıları karmaşık, doğrusal olmayan ve yorumlanması zor olduğu için bilim insanları tarafından "kara kutu" olarak tanımlanmıştır. Bu noktada güvenilir ve açıklanabilir YZ, algoritmaların verdiği kararları sorgulamak ve kara kutu problemini çözmek amacıyla bilimde bir araştırma alanı olarak öne çıkmaktadır (Ersöz, Sağiroğlu, & Bülbül, 2022). YZ'nin bilimsel süreçlere entegrasyonunda zorluklar da bulunmaktadır. Bu zorluklar; algoritmaların önyargılı olması, veri kalitesinin yetersizliği ve algoritma sonuçlarının şeffaf olmaması gibi faktörlerden



kaynaklanmaktadır. Bilimsel topluluk, YZ ile ilgili etik ve güvenilirlik konularını da ele almaktadır. İş süreçlerini şeffaf bir şekilde gösterebilen ve kararlarının nasıl alındığını açıklayabilen YZ algoritmalarını desteklemek için Açıklanabilir Yapay Zekâ (XAI) yöntemi geliştirilmiştir. Açıklanabilir YZ, tahminlerin nasıl yapıldığını insanların anlayabileceği şekilde ortaya koymayan kara kutu modellerinden farklı olarak, akıllı ve karmaşık sistemlerin karar alma süreçlerini alan uzmanlarına (örneğin doktorlar, avukatlar, finans uzmanları) anlaşılabilir terimlerle sunabilmektedir. Model yorumlama yöntemlerinin geliştirilmesi, tahminlerin anlaşılabilir açıklamalar üretebilmesine katkı sağlayabilir. Bir ML yaklaşımının şeffaf olması, eğitim verilerinden çıkarılan model parametrelerinin ve test verilerinden elde edilen etiketlerin, yaklaşım tasarımcısı tarafından tanımlanabilir ve gerekçelendirilebilir olmasıdır (Ersöz, Sağıroğlu & Bülbül, 2022).

ML ve DL yaklaşımlarının performanslarının yorumlanabilirliği, daha sonra farklı bir ML modeli, algoritma veya veri ön işleme yöntemi seçme konusunda destek sağlamaktadır. Belirli bir örneğin bir karar üretmesine (örneğin sınıflandırma veya regresyon) katkıda bulunan özelliklerin yorumlanabilirliği ve kullanıcının hedefi çok önemlidir. Bununla birlikte, bilimsel uygulamalar için güvenilir sonuçlar üretmenin temel ön koşulu bilimsel tutarlılıktır. Bu, elde edilen sonucun mantıklı ve mevcut bilimsel ilkelerle uyumlu olması gerektiği anlamına gelir. Bilgilendirilmiş ML gibi alanlarda bilimsel ilkelerin seçimi ve formülasyonu, temel araştırma sorusu olarak öne çıkmaktadır (Longo vd., 2020; Minh vd., 2022; Roscher vd., 2020; Vilone & Longo, 2021).

### **1.3. Yapay Zekâ ve Fizik: Geçmişten Günümüze Gelişim ve Uygulamaları**

YZ, son yıllarda dünya genelinde devletlerin büyük araştırma projeleriyle hızla gelişmektedir. Avustralya, Kanada, Amerika Birleşik Devletleri, Çin Halk Cumhuriyeti, Danimarka, Avrupa Komisyonu, Fransa, Almanya ve Birleşik Krallık gibi ülkeler, YZ alanına milyarlarca dolar yatırım yaparak bölgesel stratejiler geliştirmeyi planlamaktadır. Bu hızlı gelişim, birçok alanda önemli dönüşümler yaratırken, fizikçiler, bu teknolojinin başlangıçta bilgisayar bilimleri ve mühendislik alanlarında gelişmiş olmasını

göz önünde bulundurdıklarında, YZ'yi genellikle şaşkınlıkla karşılamaktadır. Ancak, zamanla bu şaşkınlık yerini, YZ'nin fiziksel sistemlerin anlaşılmasındaki gücünü keşfetmeye bırakmıştır (Peretto, 1984).

YZ'nin fizik alanındaki kullanımı, 1980'lerin başlarına, özellikle istatistiksel mekanik ve manyetik sistemler gibi konularda fizikteki ilk uygulamalara dayanmaktadır. Bu süreç, fiziksel sistemlerin modellenmesi ve veri analizi gibi önemli alanlarda yer edinmiş ve YZ'nin bu alanlardaki potansiyelini keşfetmeye imkân tanımıştır. O dönemde yapılan çalışmalar, YZ'nin fiziksel sistemleri anlamadaki rolünü gözler önüne sermiştir (Engel & Broeck, 2001).

YZ ve makine öğrenmesi, özellikle “spin camları” gibi düzensiz manyetik sistemlerde oldukça etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Bu tür sistemler, makine öğrenmesinin matematiksel ilkelerinin fiziksel örneklerini sunarak, YZ'nin öğrenme ve depolama kapasitelerini daha derinlemesine anlamamıza imkân sağlamaktadır. 1990'lı yıllarda, yüksek enerji ve nükleer fizik araştırmalarında YZ'ye dair ilk seminerler düzenlenmiş ve bu seminerler zamanla “İleri Hesaplama ve Analiz Teknikleri” adıyla yeniden şekillenmiştir (Nishimori, 2001; Engel & Broeck, 2001).

YZ'nin fizik araştırmalarındaki uygulamalarının ötesinde, deneysel verilerin analizi ve teorik modellerin geliştirilmesinde de önemli katkılar sağladığı görülmüştür. Yüksek enerji fiziği ve parçacık fiziği gibi alanlarda, karmaşık veri kümelerinin analizi ve teorik modelleme konularında YZ teknikleri büyük avantajlar sunmaktadır. Özellikle, YZ'nin büyük veri analizi ile fiziksel sistemlerin daha doğru bir şekilde modellenmesini sağlaması, geleneksel yaklaşımlara göre daha verimli ve hızlı çözümler üretmektedir.

Astrofizikte, YZ galaksi oluşum süreçlerinin modellenmesinden, büyük ölçekli yapıların analizine kadar geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır. YZ'nin bu alandaki uygulamaları, devasa veri setlerinin analizini hızlandırarak, evrenin fiziksel süreçlerine dair daha derin bir anlayış kazanmamıza imkân sağlamaktadır (Ntampaka vd., 2019). YZ, astrofizikçilerin, yıldızların ve galaksilerin evrimini anlamada, hatta karanlık madde gibi daha az bilinen kozmolojik olguların araştırılmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

YZ ve makine öğrenmesinin gelişimi, insan beynine benzer yapılar kullanılarak gerçekleştirilmiş olsa da, insan zekâsının doğrudan bir yansıması değildir. Sinir ağları, matematiksel temsillere dayalı algoritmalar olup, insanlar gibi deneyimlerden öğrenmezler. Makine öğrenmesi, büyük veri kümeleri ve matematiksel optimizasyonlar yoluyla işlev görmektedir. Bu durum, YZ'nin fiziksel sistemlerin modellenmesinde ve yeni teorik modellerin geliştirilmesinde neden bu kadar etkili bir araç haline geldiğini açıklamaktadır (LeCun vd., 2015).

Kuantum hesaplama ve YZ'nin birleşimi, fiziksel problemleri çözmeye devrim yaratma potansiyeline sahiptir. Kuantum makine öğrenmesi üzerine yapılan araştırmalar, fiziksel simülasyonların hızlandırılmasında ve veri analizinin daha verimli hale getirilmesinde önemli ilerlemeler kaydetmektedir (Schuld & Petruccione, 2018). Bu birleşim, özellikle çok boyutlu ve karmaşık fiziksel sistemlerin simülasyonları için heyecan verici bir geleceği işaret etmektedir. Örneğin; 2024 Fizik Nobel Ödülü, modern YZ'nin temellerini atan Amerikalı bilim insanı John Hopfield ve Britanya-Kanada vatandaşı Geoffrey Hinton'a verilmiştir. Nobel komitesinin açıklamasına göre, Hopfield ve Hinton, “günümüzün güçlü makine öğrenmesi yöntemlerinin temellerini atan ve fiziksel ilkeleri bu alanda kullanan” araştırmalar yaparak bu ödüle layık görülmüşlerdir. YZ'nin bilim, mühendislik ve günlük yaşamda devrim yaratan etkileri vurgulanmaktadır. Hopfield, “görüntüleri ve diğer veri desenlerini depolayıp yeniden yapılandırabilen bir ilişki bellemek” oluşturduğu için ödüllendirilirken, Hinton, “verilerdeki özellikleri bağımsız olarak keşfetme yöntemini” icat etmiştir. Bu özellik, günümüzde büyük yapay sinir ağlarında etkileri bulunmaktadır (Nobel Prize, 2024).

CERN gibi büyük araştırma merkezleri, YZ'nin fiziksel sistemler üzerindeki etkisini kullanarak bilimsel araştırmalarını hızlandırmakta ve sonuçlarını açıklanabilirlik ile anlamlandırmaktadırlar. CERN, YZ alanındaki gelişmeleri fiziksel araştırmalarda, özellikle parçacık fiziği ve büyük veri analizlerinde yoğun bir şekilde uygulamaktadır. Bu çalışmalar, araştırmaların hızını artırmakta ve daha derinlemesine keşifler yapma imkânı sunmaktadır (CERN, 2024).

Sonuç olarak, YZ ve fizik arasındaki ilişki, yalnızca teorik değil, aynı zamanda pratik anlamda da büyük bir dönüşüm yaratmaktadır. Kuantum hesaplama ve YZ gibi teknolojilerin birleşimi, fiziksel sistemlerin daha hızlı ve doğru bir şekilde modellenmesine olanak tanıyacak, bu sayede bilimsel ilerlemelere katkı sağlayacaktır. YZ'nin fiziksel sistemlerdeki potansiyeli daha da genişledikçe, bu disiplinlerarası etkileşimlerin, fiziksel dünyayı anlama biçimimizi daha da derinleştireceği aşikârdır.

#### **1.4. Bilimde Yapay Zekâ: Küresel Eğilimler ve Avrupa Birliği Politikaları**

YZ kullanımındaki küresel eğilimler, Amerika Birleşik Devletleri, Avrupa ve Çin gibi büyük ekonomik bölgelerde farklılık göstermektedir. ABD ve Çin, YZ araştırmaları ve geliştirme konusunda öncülük ederken, Avrupa Birliği (AB) de YZ ile ilgili düzenlemeler ve araştırma finansmanı yoluyla küresel lider olmayı hedeflemektedir. Bu üç bölgenin YZ gelişimine yaklaşımı, stratejik ve politik farklılıklar taşımaktadır. ABD ve Çin, YZ inovasyonunda rekabeti artırmak için büyük ölçekli yatırımlar yaparken, Avrupa Birliği daha çok etik kurallar ve düzenlemeler üzerine yoğunlaşmaktadır. Bu farklı yaklaşımlar, bilimde YZ'nin gelişimini ve uygulamalarını küresel ölçekte şekillendirmektedir. Avrupa düzeyindeki mevcut politika girişimleri, YZ'nin stratejik önemini vurgulamakta ve doğru çerçeve koşullarını teşvik etmek için kapsamlı bir strateji ortaya koymaktadır. Bu politika, AB'nin güvenilir YZ'de mükemmellik ilkesine dayalı olarak geliştirilmiştir ve bilimsel mükemmellik üzerine odaklanmaktadır. YZ'nin bilimdeki büyüyen rolü, bilimsel atılımlar için bir katalizör ve bilimsel süreçte önemli bir araç olarak kabul edilmektedir. YZ, bilimsel sınırları zorlayarak mevcut yöntemlerin erişemeyeceği yeni sonuçlar üretmekte ve bu hızlanma, yeşil ve dijital dönüşüm gibi toplumsal zorluklarla başa çıkılmasına katkı sağlamaktadır. Bu sayede, Avrupa'nın bilimsel ilerlemenin ön saflarında yer alması hedeflenmektedir (Leontidis, 2024).

YZ'nin bilimde geniş uygulamaları ve elde edilen başarılar, jeopolitik sonuçlara da sahiptir. YZ destekli bilimde liderlik, Avrupa'nın rekabet avantajı, refahı ve teknolojik egemenliği için büyük önem taşımaktadır. Mevcut eğilimler, YZ alanında önde gelen ülkelerin, rekabet güçlerini

artırarak ‘kazanan her şeyi alır’ dinamiğini yoğunlaştıracağını göstermektedir. Bu doğrultuda, araştırma yeteneklerini hızlandırmak, yeniliği teşvik etmek ve ekonomik büyümeyi desteklemek amacıyla Avrupa’nın, YZ’nin gücünden yararlanmasını gerektiği savunulmaktadır. Avrupa Birliği, YZ ile ilgili bilimsel ihtiyaçları ele almakta ve mevcut YZ ve Ar-Ge politikalarını temel alarak özel bir Avrupa Araştırma Alanı politikası geliştirmektedir. YZ Yasası ile AB, güvenilir YZ için küresel bir çerçeve oluşturma konusunda liderliği üstlenmektedir. Küresel rekabet ortamında, YZ’nin bilimsel keşif süreçlerine entegre edilmesi, AB’nin küresel bilimsel arenadaki rekabet gücünü artırmayı amaçlamaktadır (European Commission: Directorate-General for Innovation, Arranz vd., 2023; Leontidis, 2024).

Bu noktada Avrupa Birliği’nin (AB) bilimde YZ uygulamalarını en verimli şekilde kullanabilmesi ve küresel bilimsel liderliğini sürdürebilmesi için çeşitli politikalara ihtiyaç duyulmaktadır:

1. **Vizyon ve Yönetim:** Avrupa’daki bilim insanlarının YZ’yi bilimsel atılımlar için en iyi şekilde kullanmasını sağlamak amacıyla stratejik bir politika gerekmektedir. Bu politika, ekonomi ve toplum için değer yaratma amacını taşımaktadır. YZ politikasının, dijital ve YZ politikaları, eğitim politikası ve uyum politikası ile koordineli bir şekilde yönetilmesi için bir ekosistem yaklaşımı gereklidir. Bu sayede AB, bilimdeki liderliğini sürdürme konusunda güçlü bir temel oluşturabilir.
2. **Yetenek:** AB’nin güçlü bir bilimsel temeli bulunmakla birlikte, beyin göçü ve akademik kariyer çerçevesindeki engeller önemli zorluklar teşkil etmektedir. YZ’nin bilimde benimsenmesi, araştırma mühendisleri gibi yetenekleri çekmek ve elde tutmak için doğru kolaylaştırıcıları geliştirmeyi gerektirir. Ayrıca, YZ odaklı bilim için eğitim verilmesi ve YZ’nin araştırmacıların çalışmaları üzerindeki etkisinin anlaşılması önemlidir. Bu, bilim yapma biçimlerini de yenilikçi bir şekilde dönüştürebilir.
3. **Veri, Hesaplama ve YZ Varlıkları Ekosistemi:** Avrupa Açık Bilim Bulutu (EOSC) gibi veri alanlarının tamamlanması, AB için önemli bir rekabet avantajı sağlayacaktır. YZ odaklı araştırmalarda, daha fazla otomasyona dayalı stratejiler geliştirerek bilimde YZ’nin

benimsenmesini hızlandırmak gereklidir. Bu, YZ'ye göre uyarlanmış kaliteli veri kümelerine ve yüksek performanslı bilgi işleme erişimine sahip olmayı içerir. Bu tür altyapılar, bilimsel atılımları hızlandıracak ve veri odaklı YZ uygulamalarını destekleyecektir.

4. ***Finansman ve Ar-Ge Sistemi:*** YZ'nin bilimdeki kullanımını artırmak ve bilimsel zorlukları çözmek için stratejik Ar-Ge yatırımları yapmak çok önemlidir. Bu yatırımlar, yalnızca temel araştırmaları değil, aynı zamanda bu araştırmaların pazara sunulmasını kolaylaştıracak stratejileri de içermelidir. Ayrıca, disiplinler arası bilgi paylaşımının teşvik edilmesi, araştırmacıların yenilikçi çözümler üretmesi açısından önemli bir öncelik olmalıdır.
5. ***Etkileştirici Çerçeve:*** YZ, bilimsel sonuçların açıklanması ve yeniden üretimi gibi etik zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu bağlamda, bilim topluluğu ve politika yapıcıların, YZ'nin kötüye kullanımını önlemek adına uzun vadeli ve dikkatli bir yaklaşım benimsemeleri gerekmektedir. AB, YZ düzenlemeleri ve etik yaptırımlar ile bu sorunlara karşı proaktif bir duruş sergilerken, esnek mekanizmalar geliştirmeyi ve uluslararası iş birliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu çabalar, YZ'nin bilimde güvenli ve etik bir şekilde kullanılmasını sağlama yolunda önemli bir adımı temsil etmektedir.

YZ'nin getirdiği zorluklar ve değişimin itici güçleri, AB düzeyinde bilimde YZ için elverişli bir ekosistem geliştirmek amacıyla eylem ve girişimlerin gerekliliğini vurgulamaktadır (European Commission: Directorate-General for Innovation, Petkova, & Roman, 2023).

### **1.5. Teknoloji Alanlarında Yapay Zekâ Patentlenmesi**

Endüstri 4.0 olarak adlandırılan dördüncü sanayi devrimiyle birlikte, YZ teknolojilerinin patentlenmesi son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. YZ tabanlı buluşlar, biyoteknoloji, sağlık hizmetleri, telekomünikasyon ve otomotiv gibi geniş bir yelpazede yayılmıştır. Patent başvurularının analizi, bu alanlarda inovasyonların hız kazandığını ve YZ'nin teknoloji sektöründeki rolünün giderek arttığını göstermektedir.

YZ ile ilgili patentlerin yönetimi çeşitli zorluklar içermektedir. YZ algoritmalarının fikri mülkiyet kapsamına girip girmediği veya nasıl korunacağı, patent ofisleri ve yasa yapıcılar arasında önemli bir tartışma konusu olmaya devam etmektedir. Dolayısıyla, bilim insanları ve hukuk akademisyenleri, YZ tarafından üretilen proje sonuçlarının nasıl korunacağına odaklanmıştır (Bayındır, 2022; Lizarralde & Contreras, 2022). Temel YZ tekniklerinin patentlenmesi, bu alandaki gelişmeyi teşvik etmekle birlikte, artan özelleştirme eğilimi inovasyonu engelleyebileceği endişesini de beraberinde getirmiştir (Zingg, 2021). Özellikle 2010 yılından bu yana büyük ABD ve Japonya teknoloji firmaları, makine öğrenimi patentlerinde kayda değer bir artış göstermiştir (Webb vd., 2018). Avrupa Birliği ise, YZ ile ilgili patentleme konularını ele alan düzenlemeler geliştirme yolunda ilerlemektedir. 1990'lı yıllarda sinir ağları ile ilgili patentler artış göstermiş olsa da, son yıllarda daha yeni YZ teknolojileri bu alandaki ilgiyi üzerine çekmiştir. Bu gelişmeler, fikri mülkiyet yoluyla YZ'nin temel bileşenlerine hâkim olma yarışını küresel ölçekte hızlandırmaktadır.

Güç operasyonları sektöründe, güvenlik kontrolüne yönelik YZ teknolojileri, endüstriyel ortamlarda pratik uygulamaları sergileyen çeşitli ulusal buluş patentleri almıştır. YZ'nin gelişmeye devam etmesiyle birlikte, patent hukuku paradigmasının temel ilkeleri koruyarak uyum sağlaması ve YZ yeniliklerinin daha fazla teknolojik gelişmeyi engellemeden yeterli bir şekilde korunması beklenmektedir (Menghao vd., 2023; Straus, 2021). YZ alanındaki patentlemelerin, sağlık, enerji ve imalat gibi sektörlerde büyümeye devam etmesi ve çeşitli endüstrilere yayılması öngörülmektedir. Örneğin, Google gibi şirketler, rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının ticari değerini artırmak amacıyla YZ'den faydalanmaktadır. Üretim ve otomotiv endüstrilerinde ise, dijital ikizler oluşturmak ve daha verimli tasarım ve üretim süreçleri sağlamak amacıyla üretken YZ teknolojileri kullanılmaktadır. Bu gelişmeler, şirketlerin iş akışlarını simüle etmesine ve optimize etmesine olanak tanıyarak, daha hızlı üretim döngüleri ve azaltılmış operasyonel maliyetler elde etmelerine yardımcı olmaktadır. Ayrıca, YZ'nin gerçek dünya sensör verilerinin entegrasyonu sayesinde gelişmiş güvenlik özellikleri sağlanmakta ve otonom araçların gelişimi hızlanmaktadır (Boyle, 2024; Sparrow, 2024).

## 1.6. Yapay Zekâ ile Bilimsel Keşif ve Üretken Yapay Zekâ Araçları

YZ araştırmalarının odak noktası, başlangıçta sinirbilim ve felsefe gibi alanlardan daha çok, bilgisayar bilimi ve kısmen de matematik temelli bir yaklaşıma kaymıştır (Frank vd., 2019). YZ, bilimsel keşif süreçlerini hızlandırarak büyük veri kümeleri üzerinde çalışan bilim insanlarına daha önce fark edilmeyen desenleri ve bağlantıları keşfetme imkânı sağlamaktadır. Ancak, YZ'nin bilimsel keşiflerdeki doğruluğu ve güvenilirliği konusunda bazı endişeler bulunmaktadır. Bilimsel topluluk, YZ sistemlerinin doğrulanması ve bu sistemlerin önyargılardan arındırılması gerektiği konusunda ortak bir görüşe sahiptir. Son yıllarda YZ alanında makine öğrenme algoritmalarıyla geliştirilen ve devrim niteliğinde özellikleriyle bilimin her alanında etkin olarak kullanılmakta olan üretken yapay zekâ (ÜYZ), ses, kodlama, resimler, metin, simülasyonlar ve videolar olmak üzere yeni içerik oluşturmada tavsiye etmekte ve benzersiz içerikler üretebilmektedir. ÜYZ, bu özellikleri yeni nesil kendi kendini denetleyen makine öğrenmesi modeline dayalı olarak gerçekleştirebilmektedir. ÜYZ'ye verilebilecek en önemli örnekler; OpenAI GPT serisi, GEMINI, FALCON, META AI, vb. gibi büyük dil modelleridir. Bu dil modelleri, kitaplar, haber makaleleri, web siteleri ve Wikipedia gibi geniş veri kaynakları üzerinde makine öğrenimi algoritmaları kullanarak metin, ses, video, resim, kod üretirler. Özellikle ChatGPT gibi oldukça popüler olan büyük dil modelleri, bilim dünyasında ve genel olarak toplumda büyük bir etki yaratmıştır. Bu modeller, bilimsel yazım süreçlerini hızlandırarak ve büyük veri kümelerinin analizine yardımcı olarak bilim insanlarının çalışmalarını kolaylaştırabilir. GPT ve benzeri modeller, bilimsel yayıncılıkta devrim niteliğinde değişikliklere yol açmış ve makale yazma ile düzenleme süreçlerini hızlandırmıştır. Ayrıca, bu araçlar bilimsel veri analizine ve yorumlamaya da katkı sağlamaktadır (Ersöz, Sağıroğlu & Bülbül, 2024; Cooper, 2023).

Büyük dil modellerinin sağladığı avantajlar kadar çeşitli riskleri de bulunmaktadır. Özellikle, üretilen bilgilerin doğruluğunun garanti edilmemesi ve bu modellerin yanlış bilgileri yayma potansiyeli, bilimsel çalışmalar için önemli bir endişe kaynağıdır (Bender vd., 2021). Bu nedenle, YZ tabanlı



araçların bilimsel çalışmalar sırasında dikkatli bir şekilde kullanılması büyük önem taşır. Ayrıca, üretken YZ araçlarının kullanımı ile ilgili bazı etik ve kültürel sorunlar da ortaya çıkmaktadır. Özellikle, mevcut araştırmalarda çok kültürlü bir bakış açısının eksikliği, bulguların evrenselliği konusunda şüpheler doğurur. Farklı kültürel bağlamlardaki etkisinin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılması gerekmektedir. ÜYZ, bilimsel süreçlere önemli katkılar sağlamasına rağmen, çeşitli potansiyel riskleri de beraberinde getirir. En büyük endişelerden biri, ÜYZ araçlarının yanlış veya önyargılı sonuçlar üretebilme olasılığıdır. Ayrıca, bu araçların aşırı kullanımı, bilim insanlarının yaratıcı düşünme yeteneklerini sınırlayabilir ve bilimsel ilerlemeyi yavaşlatabilir. Üretilen yanlış bilgilerin yayılma riski, bilimsel yayıncılığın güvenilirliğini de tehlikeye atabilmektedir (Cooper, 2023; Van Wyk, 2024; Pervin, & González, 2024). Sonuç olarak, dil modellerinin bilimsel yayıncılıktaki potansiyel etkisi oldukça karmaşıktır. Bir yandan, bilimsel makalelerin yazımını otomatikleştirerek zaman kazandırabilirken, diğer yandan yayımlanan çalışmaların doğruluğu ve kalitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Bu nedenle bilim topluluğu, YZ tabanlı araçların kullanımının dikkatle yönetilmesi ve bu araçların bilimsel araştırmaların kalitesini artıracak şekilde kullanılması gerektiği konusunda farkındalığa sahiptir (Perkins vd., 2023).

## 1.7. Yapay Zekâ ve Şirketlerin İnovasyonu

YZ, şirketlerin inovasyon süreçlerinde giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Yeni ürünlerin geliştirilmesi, pazar analizleri ve müşteri ihtiyaçlarının öngörülmesi gibi birçok alanda kullanılan YZ, firmalara rekabet avantajı sağlamak ve inovasyon süreçlerini hızlandırmaktadır. Ancak, YZ teknolojilerinin entegrasyonu sırasında bazı zorluklar da ortaya çıkmaktadır. YZ sistemlerinin yüksek maliyeti, veri güvenliği ve etik sorunlar, şirketlerin YZ kullanımını sınırlayan temel faktörler arasındadır. Bu nedenle, şirketlerin YZ'yi stratejik bir şekilde entegre etmesi ve potansiyel risklere karşı önlem alması gerekmektedir. YZ'nin, bilimsel verimliliği artırabilmesi için mantık yürütme ve şeffaf açıklamalar sağlayan bilgi tabanlarına ihtiyacı vardır. YZ, bilimsel keşifleri hızlandırmak için daha etkili bilgi temsilleri ve sağlam akıl yürütme teknikleri gerektiren iyileştirmeleri hedeflemektedir. Bu

iyileştirmeler, bilimsel kavramların günlük dünyayla ilişkilendirilmesi ve insanlarla daha sağlıklı iletişim kurabilecek bir yapının oluşturulması gibi alanları kapsamaktadır. Şirketler, YZ teknolojilerinin sunduğu inovasyon fırsatlarından yararlanarak iş süreçlerini iyileştirme ve dijital dönüşüm projelerine hız kazandırma potansiyeline sahiptir. YZ, kuruluşların değişen teknoloji ortamlarına uyum sağlama ve inovasyon süreçlerini dönüştürme becerilerini güçlendirmektedir. Örneğin, YZ'nin sağladığı veri yönetimi ve analiz yetenekleri, firmaların iş modellerini yeniden tasarlamalarına ve dış iş ortaklarıyla iş birliğini geliştirmelerine yardımcı olmaktadır. YZ teknolojilerinin iş süreçlerine entegrasyonu, şirketlerin ürün geliştirme, hizmet sunumu ve operasyonel verimlilik yaklaşımlarını yeniden düşünmeye zorlamaktadır. Şirketler, dijital dönüşüm projelerinde YZ'nin yeteneklerinden tam anlamıyla faydalanmak için liderlik, veri yönetimi ve stratejik zekâyı uyumlu hale getiren stratejiler geliştirmelidir. YZ'nin benimsenmesi, şirketlerin değişim yönetimi yetenekleri, liderlik desteği ve dış ortaklarla kurulan iş birlikleri tarafından büyük ölçüde etkilenmektedir. Dijital ticarete, YZ'nin iş geliştirme üzerindeki etkisi giderek daha belirgin hale gelmektedir. Örneğin, 2025 yılına kadar işletmelerin %75'inin operasyonlarını ve müşteri etkileşimlerini iyileştirmek için YZ kullanması beklenmektedir. Bu, şirketlerin piyasa taleplerine daha hızlı ve etkili yanıt vermesine olanak tanıyarak önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır (Brock & von Wangenheim, 2019; Bozic vd., 2020; Schrettenbrunnner, 2020).

YZ'nin inovasyon potansiyelinden tam anlamıyla yararlanmak isteyen şirketler, çalışanların YZ teknolojilerine adaptasyonunu sağlamalı ve iş rollerindeki değişimleri dikkatle yönetmelidir. YZ'nin iş süreçlerine etkisi, çalışanların işlevlerini ve sorumluluklarını değiştirirken, insan kaynakları stratejilerinin de yeniden şekillendirilmesini gerektirir. YZ'nin büyük ölçekli insan emeğini artırma becerisi, kuruluşların inovasyona ve insan sermayesine yatırım stratejilerini yeniden düşünmelerine neden olmaktadır. Sonuç olarak, YZ'nin gelişimi, şirketlerin yalnızca teknik altyapılarını dönüştürmekle kalmayıp, aynı zamanda inovasyon yaklaşımlarını da kökten değiştirmektedir. YZ, gelecekteki rekabet stratejilerinde önemli bir faktör haline gelerek işletmelerin inovasyona odaklanmasını ve daha dinamik bir yapıya

kavuşmasını sağlamaktadır (Furman & Seamans, 2019; Füller vd., 2022; Lee vd., 2019; Bagdžiūnienė & Petraitė, 2019).

## 1.8. Bazı Sektörlerde Yapay Zekâ Uygulamaları

### 1. Sağlık Hizmetleri:

- Kişiselleştirilmiş Tıp ve Tahminsel Analiz: YZ, genetik veriler ve hasta geçmişi analizleriyle kişiselleştirilmiş tedavi yöntemleri sunmaktadır.
- Tıbbi Görüntüleme ve Teşhis: YZ, MR, röntgen gibi görüntüleri analiz ederek hastalıkların erken teşhisini kolaylaştırmaktadır.
- Etik ve Veri Gizliliği: Sağlık sektöründe YZ uygulamaları, veri güvenliği ve hasta mahremiyeti konularında yeni zorluklar getirmektedir.

### 2. Finans ve Bankacılık:

- Dolandırıcılık Tespiti: YZ algoritmaları, anomali tespiti ile sahte işlemleri hızlıca belirlemekte ve risk yönetimini geliştirmektedir.
- Yatırım Yönetimi: Makine öğrenimi, yatırım kararlarını optimize etmek için geniş veri analizleri sunmaktadır.
- Müşteri Deneyimi: YZ tabanlı chatbotlar ve sanal asistanlar, müşteri hizmetlerini iyileştirmektedir.

### 3. Üretim ve Otomotiv:

- Öngörücü Bakım: YZ, makinelerin çalışma verilerini analiz ederek arıza riskini azaltmaktadır.
- Otonom Araçlar: Otonom sürüş teknolojileri, YZ'nin trafik verilerini işleyerek güvenli sürüş sağlamasına olanak tanımaktadır.
- Dijital İkiz: Sanal modeller, üretim süreçlerinin optimizasyonunu artırmaktadır.

### 4. Perakende ve E-Ticaret:

- Kişiselleştirilmiş Öneriler: YZ, kullanıcı verilerini analiz ederek müşterilere kişiselleştirilmiş ürün önerileri sunmaktadır.

- Talep Tahmini: YZ, stok yönetiminde öngörü sağlayarak verimliliği artırmaktadır.
- Sanal Asistanlar: Müşteri desteğinde YZ tabanlı çözümler, hızlı ve etkili hizmet sunmaktadır.

### 5. Enerji ve Çevre:

- Enerji Verimliliği: YZ, enerji tüketim verilerini analiz ederek verimliliği artırmaktadır.
- Yenilenebilir Enerji Tahmini: Rüzgâr ve güneş enerjisi gibi kaynaklardan enerji üretimi tahmin edilebilmektedir.
- Sürdürülebilirlik: YZ, karbon ayak izini azaltacak çözümler sunmak için kullanılmaktadır.

Burada beş büyük endüstri alanında ortaya çıkan YZ konuları özetlenmiştir. Bu odak noktaları, şirketlerin inovasyon süreçlerinde YZ'nin potansiyelinden nasıl faydalanabileceğine dair önemli bir rehber sunmaktadır.

## 1.9. Sonuç

YZ, modern bilimsel keşifler ve endüstriyel uygulamalar açısından devrim yaratmaya devam etmektedir. YZ, özellikle büyük veri analizleri, modelleme, simülasyonlar ve öngörüselle analizlerle, bilimsel araştırmaların hızını artırmakta ve daha önce keşfedilemeyen desenlerin ortaya çıkmasına olanak tanımaktadır. Bu teknolojinin matematik, biyoteknoloji, fizik, kimya, eğitim, finans, işletme ve sağlık gibi alanlardaki kullanımı, bilimsel ilerlemeyi hızlandıran kritik bir rol oynamaktadır. Ancak YZ'nin bilimdeki etkisi yalnızca teknik gelişmelerle sınırlı kalmamaktadır; aynı zamanda bilimsel doğruluk, güvenilirlik ve etik standartlar gibi temel değerleri koruma sorumluluğu da getirmektedir. YZ tabanlı araçların doğruluğu ve şeffaflığı konusunda hâlâ önemli endişeler bulunmaktadır. Bu araçların yanlış bilgilendirme riski ve önyargı üretme potansiyeli, bilimsel topluluğun bu teknolojiyi dikkatle yönetmesini ve etik standartlar oluşturarak sorumlu bir şekilde kullanmasını gerektirmektedir.

YZ'nin bilimdeki katkıları sadece verilerin analizine dayanmamaktadır; aynı zamanda bu verilerden anlamlı ve doğru sonuçlar çıkarılması konusunda da büyük bir potansiyele sahiptir. Yine de, YZ'nin açıklanabilirliği ve algoritmaların şeffaflığı, bilimsel araştırmaların güvenilirliğini sağlamak

adına kritik bir noktadır. Bu noktada, YZ'nin sağladığı hız ve verimlilik, etik kaygılarla dengelenmelidir. YZ'nin bilimsel keşiflerdeki rolü, yalnızca veri toplama değil, aynı zamanda bu verilerin doğru bir şekilde yorumlanması ve bilimsel bilgilere dönüşmesi sürecinde de önemli bir etkidir.

Endüstriyel alanda, YZ'nin özellikle biyoteknoloji, otomotiv, enerji ve sağlık sektörlerinde önemli patent yeniliklerine yol açtığı gözlemlenmektedir. Ancak YZ tabanlı buluşların korunması ve fikri mülkiyet hakları gibi konularda belirsizlikler artmaktadır. Bu durum, teknoloji geliştikçe patent yönetimi ve fikri mülkiyet politikalarının yeniden şekillendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. YZ'nin şirketlerin inovasyon süreçlerine katkısı da büyük olup, ürün geliştirme, operasyonel verimlilik ve müşteri deneyimi gibi alanlarda önemli bir rekabet avantajı sağlamaktadır. Ancak, yüksek maliyetler ve veri güvenliği endişeleri gibi zorluklar, bu teknolojilerin benimsenmesini engellemektedir. Bu bağlamda, şirketlerin YZ'yi stratejik bir şekilde entegre etmesi, inovasyon süreçlerini sürdürülebilir kılabilmesi açısından kritik öneme sahiptir.

YZ'nin sadece mevcut alanlardaki etkisiyle sınırlı kalmayacağı, gelecekte daha fazla sektöre entegre olacağı öngörülmektedir. Özellikle kuantum bilişim, nörobilim ve YZ destekli biyoteknolojik yenilikler gibi yeni araştırma alanlarında YZ'nin etkisi giderek daha belirgin hale gelecektir. Bu dönüşüm, daha önce hayal edilemeyen bilimsel ve teknolojik buluşları mümkün kılabilir. YZ'nin insan yaşam kalitesini artırma konusunda sunduğu büyük fırsatlar da göz önüne alındığında, sağlık hizmetlerinde erken teşhis ve kişiselleştirilmiş tedavi yöntemleri ile yaşam sürelerinin uzaması ve çevresel sorunlara çözüm sunma açısından enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi alanlarda devrim yaratabileceği öngörülmektedir. Ancak bu potansiyelin gerçeğe dönüşmesi, yalnızca teknolojik başarıyla değil, toplumsal faydayı ön planda tutan bir yönetimle mümkün olacaktır.

YZ'nin gelişimi ile birlikte toplumsal eşitsizliklerin derinleşme riskine karşı da dikkatli olunmalıdır. Teknolojinin sadece belirli gruplar için erişilebilir olması, sosyal ve ekonomik eşitsizlikleri artırabilir. Bu nedenle, YZ'nin faydalarının toplumsal adalet çerçevesinde tüm insanlığa eşit şekilde sunulması için politika geliştirme ve düzenlemelerin titizlikle yapılması gerekmektedir.

YZ'nin küresel etkisi sadece bir ülkenin değil, tüm dünyayı etkilemektedir. Bu bağlamda, ülkeler arasındaki işbirliği, YZ'nin etik

kullanımı ve teknolojik düzenlemeler konusunda önem kazanmaktadır. Birleşmiş Milletler gibi uluslararası kuruluşların YZ ile ilgili evrensel standartlar belirlemesi ve bu standartların küresel ölçekte uygulanması, bu teknolojinin güvenli ve faydalı kullanımını sağlamaya yardımcı olacaktır.

Üretken YZ araçları, toplumun ve bilim dünyasının her kesiminde devrim niteliğinde bir yeni teknolojilerdir. Metin, ses, kod, video gibi kullanıcılardan aldığı komutlara uygun veriler üreten dil modelleri, veri kümelerini analiz ederek ölçeklendiren, tasarım fikirleri üretme gibi yaratıcı süreçlerde ilham kaynağı olma, rapor hazırlama, yazılım kodu oluşturma, ders planları, açıklamalar ve simülasyonlar geliştirme, çeviri yapabilme, anlamlı içgörüler çıkarma gibi çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Ancak, uydurma bilgiler, telif haklarını ihlal eden materyaller oluşturma, mahremiyet ihlalleri, manipülatif sosyal medya gönderileri oluşturma, büyük miktarda enerji tüketimi, taraflı içerik üretme gibi çeşitli dezavantajları da bulunmaktadır. Dolayısıyla, ÜYZ araçların doğru ve etkin bir şekilde kullanımı oldukça önemlidir.

Sonuç olarak, YZ'nin gelişimi, bilimsel araştırmalar ve endüstriyel inovasyon alanlarında köklü değişimlere yol açmakta, toplumsal ve etik açıdan yeni sorumluluklar ve fırsatlar sunmaktadır. Bu süreçlerin sürdürülebilir ve güvenli bir şekilde ilerleyebilmesi için multidisipliner bir yaklaşım benimsenmeli, etik standartlar ve hukuki düzenlemeler güçlendirilmelidir. YZ'nin topluma katkıları, yalnızca dikkatli bir yönetim, şeffaflık ve etik bir çerçeveye en üst düzeye çıkarılabilir. YZ'nin potansiyeli verimli bir şekilde kullanılarak, bilimsel doğruluk, güvenilirlik ve sürdürülebilirlik temelinde da etkili ve kapsamlı araştırmalar gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKÇA

- Ahmad,T.,Zhang,D.,Huang, C., Zhang,H., Dai,N., Song,Y., Chen,H., (2021). Artificial intelligence in sustainable energy industry: Status Quo, challenges and opportunities,Journal of Cleaner Production,Volume 289,2021,125834,ISSN09596526https://doi.org/10.1016/j.jclepro.125834
- Agrawal,A., McHale, J., Oetl, A.,(2024) Artificial intelligence and scientific discovery: a model of prioritized search,Research Policy,Volume 53, Issue 5,2024,104989,ISSN 0048-7333,https://doi.org/10.1016/j.respol.2024.104989.
- Allen, G. (2020). Understanding AI technology. *Joint Artificial Intelligence Center (JAIC) The Pentagon United States*, 2(1), 24-32.
- Bayındır, A. S. (2022). *Yapay zekâ Teknolojilerinin Ortaya koyduğu buluşların patentlenebilirliği*. Master's Thesis.Bilkent Üniversitesi (Turkey).
- Bajwa J, Munir U, Nori A, Williams B. (2021) Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine. *Future Healthc J*. Jul;8(2):e188-e194. doi: 10.7861/fhj.2021-0095. PMID: 34286183; PMCID: PMC8285156.
- Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). *On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big??* Paper presented at the Proceedings of the 2021 ACM conference on fairness, accountability, and transparency.
- Boyle, C. (2024). NVIDIA AI Summit Highlights Game-Changing Energy Efficiency and AI-Driven Innovation. Retrieved from <https://blogs.nvidia.com>
- Briganti, G., & Le Moine, O. (2020). Artificial intelligence in medicine: today and tomorrow. *Frontiers in medicine*, 7, 509744.
- Brock, J. K.-U., & von Wangenheim, F. (2019). Demystifying AI: What Digital Transformation Leaders Can Teach You about Realistic Artificial Intelligence. *California Management Review*, 61(4), 110-134. doi:10.1177/1536504219865226
- CERN. (2024). Sparking the Future of Artificial Intelligence: CERN Hosts the First Edition of Sparks of Serendipity. home CERN. Retrieved from <https://home.web.cern.ch/news/news/cern/sparking-future-artificial-intelligence-cern-hosts-first-edition-sparks-serendipity>

- Choudhary, A., Fox, G. C., & Hey, T. (2023). *Artificial intelligence for science: a deep learning revolution*: World Scientific Publishing Co. Pte Ltd
- Chen,C., Hu,Y.,Karuppiah, M., Kumar,P.M.,(2021).Artificial intelligence on economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies,Sustainable Energy Technologies and Assessments,Volume 47,2021,101358,ISSN 2213-1388,https://doi.org/10.1016/j.seta.101358.
- Confalonieri, R., Coba, L., Wagner, B., & Besold, T. R. (2021). A historical perspective of explainable Artificial Intelligence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 11(1), e1391.
- Cooper, G. (2023). Examining science education in ChatGPT: An exploratory study of generative artificial intelligence. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 444-452.
- Duque Lizarralde, M., & Contreras, H. A. (2022). The real role of AI in patent law debates. *International Journal of Law and Information Technology*, 30(1), 23-46.
- Engel, A., & Van den Broeck, C. (2001). *Statistical Physics of Neural Networks*. Cambridge University Press, 342 p.
- Ersöz, B., Sağıroğlu, Ş., & Bülbül, H. İ. (2022). *A short review on explainable artificial intelligence in renewable energy and resources*. Paper presented at the 2022 11th International Conference on Renewable Energy Research and Application (ICRERA).
- Ersöz, B., Sağıroğlu, Ş., & Bülbül, H. İ. (2022). *Methods of Explainable Artificial Intelligence, Trustworthy Artificial Intelligence and Interpretable Machine Learning in Renewable Energy*. *International Journal of Smart Grid-ijSmartGrid*, 12(4).
- Ersöz, B., Sağıroğlu, Ş., & Bülbül, H. İ. (2024, October). *Generative Artificial Intelligence Opportunities and Threats: Bibliometric Analysis*. In 2024 9th International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK) (pp. 1-6). IEEE.
- European Commission: Directorate-General for, R., Innovation, Arranz, D., Bianchini, S., Di Girolamo, V., & Ravet, J. (2023). *Trends in the use of AI in science – A bibliometric analysis*: Publications Office of the European Union.
- European Commission: Directorate-General for, R., Innovation, Petkova, D., & Roman, L. (2023). *AI in science – Harnessing the power of AI to*



- accelerate discovery and foster innovation – Policy brief*: Publications Office of the European Union.
- Eyres, A., Ball, T., Dales, M., Swinfield, T., Arnell, A., Baisero, D., Madhavapeddy, A. (2024). LIFE: A metric for quantitatively mapping the impact of land-cover change on global extinctions.
- Frank, M. R., Wang, D., Cebrian, M., & Rahwan, I. (2019). The evolution of citation graphs in artificial intelligence research. *Nature Machine Intelligence*, 1(2), 79-85.
- Furman, J., & Seamans, R. (2019). AI and the Economy. *Innovation policy and the economy*, 19(1), 161-191.
- Füller, J., Hutter, K., Wahl, J., Bilgram, V., & Tekic, Z. (2022). How AI revolutionizes innovation management – Perceptions and implementation preferences of AI-based innovators. *Technological Forecasting and Social Change*, 178, 121598. doi:<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.121598>
- IAEA Scientific Forum 2023, 26 – 27 September 2023, Choudhary, A., Fox, G. C., & Hey, T. (2023). Artificial intelligence for science: a deep learning revolution: World Scientific.
- Kaul, V., Enslin, S., & Gross, S. A. (2020). History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointestinal endoscopy*, 92(4), 807-812.
- Kundi, B., El Morr, C., Gorman, R., & Dua, E. (2023). Artificial Intelligence and Bias: A scoping review. *AI and Society*, 199-215.
- LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- Lee, J., Suh, T., Roy, D., & Baucus, M. (2019). Emerging Technology and Business Model Innovation: The Case of Artificial Intelligence. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(3), 44. doi:<https://doi.org/10.3390/joitmc5030044>
- Leontidis, G. (2024). Science in the age of AI: How artificial intelligence is changing the nature and method of scientific research.
- Liu, Y., Yang, Z., Yu, Z., Liu, Z., Liu, D., Lin, H., Li, M., Ma, S., Avdeev, M., Shi, S., (2023). Generative artificial intelligence and its applications in materials science: Current situation and future perspectives, *Journal of Materiomics*, Volume 9, Issue 4, Pages 798-816, ISSN 2352-8478, <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2023.05.001>.
- Longo, L., Goebel, R., Lecue, F., Kieseberg, P., & Holzinger, A. (2020). *Explainable artificial intelligence: Concepts, applications, research*

- challenges and visions*. Paper presented at the International cross-domain conference for machine learning and knowledge extraction.
- Mana,A.A., Allouhi, A.,Hamrani,A.,Rehman,S.,Jamaoui,I., Jayachandran,K., (2024) Sustainable AI-based production agriculture: Exploring AI applications and implications in agricultural practices,Smart Agricultural Technology, Volume7,100416,ISSN27723755,https://doi.org/10.1016/j.atech.100416.
- Menghao, Yifengchao, Guogang, & LiTianyi. (2023). *Research on the Application of Artificial Intelligence Technology in Safety Control of Electric Power Operation Site*. Paper presented at the 2023 2nd Asian Conference on Frontiers of Power and Energy (ACFPE).
- Merchant, A., Batzner, S., Schoenholz, S. S., Aykol, M., Cheon, G., & Cubuk, E. D. (2023). Scaling deep learning for materials discovery. *nature*, 624(7990), 80-85.
- Minh, D., Wang, H. X., Li, Y. F., & Nguyen, T. N. (2022). Explainable artificial intelligence: a comprehensive review. *Artificial Intelligence Review*, 1-66.
- Mumuni,A.,Mumuni,F.,(2024)Automated data processing and feature engineering for deep learning and big data applications: A survey,Journal of Information and Intelligence,ISSN 2949-7159,https://doi.org/10.1016/j.jiixd.2024.01.002.
- Nina Bozic, Y., Valerie, R., Galina Esther, S., Sandor, A., & Daniel, G. (2020). Integrated AI and Innovation Management: The Beginning of a Beautiful Friendship. *Technology Innovation Management Review*, 10(11). Retrieved from timreview.ca/article/1399
- Nishimori, H. (2001). *Statistical Physics of Spin Glasses and Information Processing: An Introduction*. Oxford, 2001; online edn, Oxford Academic.https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198509417.001.0001,accessed 12 Nov. 2024.Oxford University Press.
- Nobel Prize. (2024). John Hopfield and Geoffrey Hinton awarded the Nobel Prize in Physics. NobelPrize.org. https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2024/summary/
- Ntampaka, M., Trac, H., Sutherland, D., Fromenteau, S., Pandya, A., & Battaglia, N. (2019). The role of machine learning in cosmology. *Nature Astronomy*, 3, 944–956. https://doi.org/10.1038/s41550-019-0854-4

- OECD (2023), Artificial Intelligence in Science: Challenges, Opportunities and the Future of Research, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a8d820bd-en>.
- OECD(2024).The Impact Of Artificial Intelligence On Productivity, Distribution and Growth [https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/04/the-impact-of-artificial-intelligence-on-productivity-distribution-and-growth\\_d54e2842/8d900037-en.pdf](https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2024/04/the-impact-of-artificial-intelligence-on-productivity-distribution-and-growth_d54e2842/8d900037-en.pdf)
- Peretto, P. (1984). Collective properties of neural networks: A statistical physics approach. *Biol. Cybern.* 50, 51–62 <https://doi.org/10.1007/BF00317939>
- Perkins, M., Furze, L., Roe, J., & MacVaugh, J. (2023). Navigating the generative AI era: Introducing the AI assessment scale for ethical GenAI assessment. *arXiv preprint arXiv:2312.07086*.
- Perrakis, A., & Sixma, T. K. (2021). AI revolutions in biology: The joys and perils of AlphaFold. *EMBO reports*, 22(11), e54046.
- Pranciulytė-Bagdžiūnienė, I., & Petraitė, M. (2019). Organizacinių gebėjimų ir individualių kompetencijų atvirosiems inovacijoms sąveika inovacijų pažangai smulkiojo ir vidutinio verslo organizacijose. *Information & Media*, 85, 148-175. doi:10.15388/Im.2019.85.21
- Roscher, R., Bohn, B., Duarte, M. F., & Garcke, J. (2020). Explainable Machine Learning for Scientific Insights and Discoveries. *IEEE Access*, 8, 42200-42216. doi:10.1109/ACCESS.2020.2976199
- Sarker, I. H. (2021). Deep learning: a comprehensive overview on techniques, taxonomy, applications and research directions. *SN computer science*, 2(6), 420.
- Schrettenbrunnner, M. B. (2020). Artificial-Intelligence-Driven Management. *IEEE Engineering Management Review*, 48(2), 15-19. doi:10.1109/EMR.2020.2990933
- Schuld, M., Petruccione, F. (2018). Machine Learning. In: Supervised Learning with Quantum Computers. Quantum Science and Technology. *Springer, Cham*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-96424-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-96424-9_2)
- Sparrow, G. (2024). AI in the energy sector: innovation and patenting trends. Retrieved from <https://www.dyoung.com>
- Straus, J. (2021). Will Artificial Intelligence Change Some Patent Law Paradigms? *Zbornik Znanstvenih Razprav*, 81, 11.

- The Royal Society (2017) theAI revolution iin scientific research The Royal Society.[https://sites.pitt.edu/~jdnorton/teaching/Phil\\_Sci\\_Core/Phil\\_Sci\\_Core\\_2022/docs/ML\\_revolution/Royal%20Soc%20AI%20Revolut ion%20Science.pdf](https://sites.pitt.edu/~jdnorton/teaching/Phil_Sci_Core/Phil_Sci_Core_2022/docs/ML_revolution/Royal%20Soc%20AI%20Revolut ion%20Science.pdf)
- The Royal Society (2024). Science in the age of AI: How artificial intelligence is changing the nature and method of scientific research. The Royal Society. <https://royalsociety.org/news-resources/projects/science-in-the-age-of-ai/>
- Tracey, B. D., Michi, A., Chervonyi, Y., Davies, I., Paduraru, C., Lazic, N., .. Riedmiller, M. (2024). Towards practical reinforcement learning for tokamak magnetic control. *Fusion Engineering and Design*, 200, 114161. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fusengdes.2024.114161>
- Van Wyk, M. M. (2024). Is ChatGPT an opportunity or a threat? Preventive strategies employed by academics related to a GenAI-based LLM at a faculty of education. *Journal of applied learning and teaching*, 7(1).
- Vilone, G., & Longo, L. (2021). Notions of explainability and evaluation approaches for explainable artificial intelligence. *Information Fusion*, 76, 89-106.
- Warwick, K. (2013). *Artificial intelligence: the basics*: Routledge. WebSite Erişim tarihi:10.11.2024.<https://cmc.marmot.org/Record/.b3822544x>
- Webb, M., Short, N., Bloom, N., & Lerner, J. (2018). *Some facts of high-tech patenting* (No. w24793). National Bureau of Economic Research.
- Yusuf, A., Pervin, N., & Román-González, M. (2024). Generative AI and the future of higher education: a threat to academic integrity or reformation? Evidence from multicultural perspectives. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 21.
- Zingg, R. (2021). Foundational Patents in Artificial Intelligence. In J.-A. Lee, R. Hilty, & K.-C. Liu (Eds.), *Artificial Intelligence and Intellectual Property* (pp. 0): Oxford University Press.



**BÖLÜM 2**  
**ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ METODOLOJİSİ VE ENDÜSTRİDE**  
**KULLANILABİLİRLİĞİ**

Sanem AYDAR<sup>1</sup>

Doç. Dr. Serap AKCAN YETGİN<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556449>

---

<sup>1</sup> Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye.  
240925002@tarsus.edu.tr, ORCID ID: 0009-0002-4126-7142

<sup>2</sup> Doç. Dr., Tarsus Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Mersin,  
Türkiye, serapakcan@tarsus.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-2621-9142



## GİRİŞ

Günümüz hızla değişen iş dünyasında, projelerin etkili bir şekilde yönetilmesi, başarı için kritik bir faktör haline gelmiştir. İşte tam da bu noktada, geleneksel proje yönetimi metodolojilerine bir alternatif olarak çevik proje yönetimi devreye girmektedir. Çevik proje yönetimi, özellikle yazılım ve bilgi teknolojisi alanlarında önem kazanmış, ancak diğer sektörlerde de hızla yayılmış bir yaklaşım olarak dikkat çekmektedir.

Çevik proje yönetimi, 1950'lerde yalın ilkelerin ortaya çıkmasının ardından, özellikle yazılım endüstrisindeki verimlilik ve adaptasyon ihtiyaçlarına cevap olarak evrim geçirmiştir. Yalın üretim kavramı, Toyota'nın otomotiv endüstrisindeki uygulamalarından doğmuş ve israfın ortadan kaldırılması, müşteri değerine odaklanma ve sürekli iyileştirme prensiplerini benimsemiştir. Çevik proje yönetimi, bu temel ilkeleri alarak, projelerin daha esnek, hızlı ve müşteri odaklı bir şekilde yönetilmesini amaçlamaktadır.

Yazılım geliştirme bağlamında çevik proje yönetimi, yalın ilkelerden ilham alarak, proje ekiplerine müşteri taleplerine hızlı ve etkili bir şekilde yanıt verme yeteneği kazandırmaktadır. Çevik yaklaşımın temel özellikleri arasında esneklik, işbirliği ve değişime hızlı adapte olma kapasitesi bulunmaktadır. Bu özellikler, projenin başlangıcından itibaren sürekli bir değer sunma amacını taşımaktadır.

Çevik proje yönetiminin benimsenmesi, yazılım geliştirme ekiplerinin süreçlerini düzenlemelerine, ekip içi iletişimi ve işbirliğini geliştirmelerine ve değişen müşteri taleplerine hızla uyum sağlamalarına olanak tanır. Bu, kendi kendini organize edebilen ekiplere, sürekli geri bildirim ve yinelemeli geliştirme döngülerine vurgu yaparak, yazılım endüstrisinde artan üretkenlik ve müşteri memnuniyeti sağlar (Twidale, Nichols, 2013).

Çevik yaklaşım; zamanında, uygun maliyetli ve yüksek kalitede çözümler sunmayı amaçlayan dinamik ve ilerici bir yaklaşımdır. Bu yaklaşım, esneklik ve gerekli formaliteler arasında denge sağlayan bir yönetim çerçevesi içinde kendi kendini organize eden ekiplerin önemli bir rol oynadığı, işbirlikçi bir ortamı teşvik eder. Çevik yöntemler, geleneksel yaklaşımların sınırlamalarına bir alternatif olarak ortaya çıkmış ve projelerin sürekli değişen taleplerine uyum sağlamak için yeni çözümler sunmuştur (Gencer ve Kayacan, 2017).



## 1.ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ

### 1.1.Çevik Proje Yönetimi Tarihi

Çevik proje yönetimi, günümüzde yaygın olarak kullanılan projelerin yönetilmesi yaklaşımı olup, kökleri 20. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. Çevik metodolojinin temelini oluşturan prensipler, özellikle yazılım geliştirme sektöründe etkili ve verimli projelerin yönetimi ihtiyacıyla şekillenmiştir. 1950'lerde Toyota'nın otomotiv endüstrisinde başlattığı yalın üretim hareketi, israfın önlenmesi, müşteri değerine odaklanma ve sürekli iyileştirmeyi temel alan prensipleri içermektedir. Bu yalın prensipler, zaman içinde özellikle üretim süreçlerinin hızlanması ve verimliliğin artması amacıyla birçok endüstride benimsendi. Yazılım endüstrisi de bu dönemde hızla gelişmekteydi ve geleneksel proje yönetimi metodolojileri, yazılım projelerinin karmaşıklığına ve değişen müşteri taleplerine etkin bir şekilde yanıt verememekteydi.

2001 yılında, yazılım geliştirme süreçlerindeki geleneksel sıkıntılara alternatif çözümler sunmak amacıyla, bir grup yazılım uzmanı bir araya gelerek "Agile Manifesto" adlı bir belgeyi yayımladı. Özellikle yüksek düzeyde belirsizlik, öngörülemezlik ve karmaşıklık ile karakterize edilen yenilikçi ortamlarda çalışmaya uygundu. İlk metodolojiler 1990'larda ortaya çıkmış olsa da çevik proje yönetiminin doğuşu genellikle 2001 yılında Çevik Yazılım Geliştirme Manifestosu'nun yayınlanmasıyla ilişkilendirilir.

### 1.2. Literatür Taraması

Çevik proje yönetimi konusunda yapılan çalışmalar Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3 de özetlenmiştir.

**Tablo 1:** Çevik Proje Yönetimi Literatür Tablosu

Yazar ve Yıl	Başlık	Ana Konu / Odak Alanı
Jim Highsmith (2002)	Agile Yazılım Geliştirme Nedir?	Çeşitli Agile yöntemleri ve Agile Manifesto'nun oluşumu
Ken Schwaber (2004)	Scrum'la Agile Proje Yönetimi	Scrum yöntemi ve Agile Manifesto'ya imza atan yazarlar
Kataria ve diğerleri (2017)	Agile Yöntemlerin Şirket İçindeki Kültürel Değişimlere Etkisi	Kurumsal kültürün Agile ile uyumlu hale getirilmesi

Ng (2018)	Agile Uygulamaların Çeşitli Endüstrilerdeki Başarı Faktörleri	Agile'in sektörlere göre farklılıkları
Surendra ve Nazir (2018)	Agile Uygulamaların Ekip Performansı ve Müşteri Memnuniyeti Üzerindeki Etkileri	Agile'in proje başarı kriterleri üzerindeki etkiler
Abdulhalim ve diğerleri (2018)	Agile Uygulamaların Örgütsel Etkililik Üzerindeki Etkileri	Liderlik ve yönetim stratejileri ile Agile'in etkileşimi
Livermore (2018)	Agile Yöntemlerin Örgüt İçindeki Değişim Sürecine Etkisi	Organizasyonlardaki değişim süreçlerini Agile perspektifi
Stouten ve diğerleri (2018)	Agile Yöntemlerin Örgüt İçindeki Değişim Sürecine Etkisi	Organizasyonlardaki değişim süreçlerini Agile perspektifi
Hayat ve diğerleri (2019)	Agile Eğitim Programlarının Etkililiği	Agile'in personel yetkinlikleri üzerindeki etkiler
Özdemir ve Çetin (2019)	Agile Eğitim Programlarının Etkililiği	Agile'in personel yetkinlikleri üzerindeki etkiler
Bhavsar ve diğerleri (2020)	Agile Süreçlerin Maliyet Etkinliği ve Proje Başarısı Üzerindeki Etkileri	Finansal perspektiften Agile'in değerinin değerlendirilmesi

**Tablo 2:** Çevik Proje Yönetimi Farklı Sektörler Literatür Tablosu

Yazar ve Yıl	Başlık	Ana Konu / Odak Alanı
Koskela ve Howell (2002)	"Zaman, Maliyet ve Kalite: Agile İnşaatın Temel Endişeleri"	Temel endişeler: zaman, maliyet ve kalite
Owen et al. (2006)	Geleneksel Proje Yönetimi ile Karşılaştırma	Geleneksel proje yönetimi ile çağdaş yaklaşımların karşılaştırılması
Daneshgari (2010)	"Agile İnşaatın Verimlilik, Kar ve Kaliteye Etkisi"	Agile'in inşaat üzerindeki kritik etkileri
Demir ve diğerleri. (2012)	Geleneksel Proje Yönetimi ile Karşılaştırma	Geleneksel proje yönetimi ile çağdaş yaklaşımların karşılaştırılması
Yusuf ve diğerleri (2012)	Pilot Çalışmalar ve Deneyim Paylaşımı	Türkiye'de inşaat sektöründe Agile PM'yi benimsemeye yönelik pilot çalışmalar ve deneyim paylaşımı
Demir et al. (2013)	AgileLean PM: Agile ve Lean Kavramlarının Birleşimi	Agile ve Lean kavramlarının birleştirilmiş kullanımı

Kumar ve McArthur (2015)	Agile PM'nin BIM ile Uygulanışı	İşbirliği, belgelendirme ve veri yönetimi için Agile PM'nin BIM'e uygulanışı
Tomek ve Kalinichuk (2015)	Agile PM ve BIM Birleşimi için Planlama Yaklaşımı	Agile PM ve BIM birleştiren planlama yaklaşımı
Stracusser (2015)	Agile Yönetim İlkelerini Kullanan Nükleer Santral Projesi	Nükleer santral projesinde Agile yönetim ilkelerinin kullanımı
Ribeiro ve Fernandes (2010)	Agile PM'nin Küçük Ölçekli Projelerde Etkili Araçlar Olarak Kullanımı	Agile PM yöntemlerinin küçük projelerde etkili kullanımı

**Tablo 3:** Çevik Proje Yönetimi Türkiye Literatür Tablosu

Yazarlar ve Yıl	Başlık	Ana Konu / Odak Alanı
Başar ve diğerleri(2015)	Scrum'dan Kanban'a Geçiş Süreci	Bir teknoloji şirketinin Scrum'dan Kanban'a geçiş süreci
Cansu ve Karakaya (2016)	Yazılım Geliştirme Süreçlerine Dair Literatür İncelemesi	Literatürdeki Agile metotlarının ve yazılım geliştirme süreçlerinin incelenmesi
Gencer ve Kayacan (2017)	Agile ve Şelale Yöntemini Karşılaştırma	Türkiye'de Agile ve Şelale yöntemlerinin karşılaştırılması
Aydiner ve diğerleri (2020)	Scrum Yöntemini Uygulayan İşletmelerin Başarı Faktörleri	Türkiye'deki Scrum uygulayan işletmelerin başarı faktörleri
Ceylan ve diğerleri (2020)	Scrum'dan Kanban'a Geçiş Süreci	Bir teknoloji şirketinin Scrum'dan Kanban'a geçiş süreci
Özen ve Koç (2021)	Yıllık Agile Durum Raporu'na Dayalı Kavramsal Değerlendirme	Digital.ai tarafından ilan edilen Agile Durum Raporu'na dayanarak kavramsal bir değerlendirme

Agile Türkiye (2024)	Türkiye'deki Durum Üzerine Genel Değerlendirme	Türkiye'deki Agile yaklaşımları ve literatürdeki sınırlamalar
----------------------	--	---

## 2. ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ METODOLOJİSİ

### 2.1 Çevik Proje Yönetimi Prensipleri

**Erken ve Devamlı Teslimat:** İlk ilke, değerli yazılımın erken ve sürekli teslim edilmesinin önemini vurgular. Bu, müşterilerin memnuniyetini sağlamak ve yazılımın hızlı bir şekilde kullanılabilir olmasını amaçlar.

**Değişen Gereksinimlerin Kabul Edilmesi:** Çevik süreçlerde, değişen gereksinimlerin yazılım sürecinin her aşamasında kabul edilmesi önemlidir. Değişiklikler müşterinin rekabet avantajı için kullanılır.

**Düzenli Müşteri İletişimi:** Çalışan yazılımın kısa zaman aralıklarıyla düzenli olarak müşteriye sunulması prensibi, hızlı ve sürekli ilerlemeyi destekler.

**Ekip İşbirliği:** İş süreçlerinin sahipleri ve yazılımcılar, proje boyunca günlük olarak birlikte çalışmalıdır. Bu, iletişimi artırır ve sorunların hızlı bir şekilde çözülmesine olanak tanır.

**Motive Olmuş Bireyler:** Projelerin temelinde motive olmuş bireylerin yer alması vurgulanır. Bu bireylere gerekli ortam ve destek sağlanmalı, güven duyulmalıdır (Stouten, 2018).

**Yüz Yüze İletişim:** Bilgi alışverişinin en etkili yönteminin yüz yüze iletişim olduğu belirtilir. Bu, anlayışı artırır ve iletişim hatalarını azaltır.

**Çalışan Ürün:** İlerleme, çalışan yazılımın birincil ölçüsüdür. Bu ilke, yazılımın sürekli olarak kullanılabilir ve değerli olması gerektiğini vurgular.

**Sürdürülebilir Geliştirme:** Çevik süreçler, sürdürülebilir geliştirmeyi teşvik eder. Sponsorlar, yazılımcılar ve kullanıcılar sabit tempoyu sürdürebilmelidir.

**Teknik Mükemmeliyet ve İyi Tasarım:** Teknik mükemmelliğe ve iyi tasarıma sürekli özen göstermek, çevikliği artırır.

Sadelik: Sadelik ilkesi, gerekli olmayan işlerin mümkün olduğunca azaltılması gerektiğini belirtir. Bu, işin odaklanmasını ve gereksiz karmaşıklığın önlenmesini amaçlar.

En İyi Mimarilerin Oluşumu: İyi mimariler, gereksinimler ve tasarımlar, kendi kendini örgütleyen takımların etkileşimi sonucunda ortaya çıkar.

Ekip İyileştirmesi: Ekip, düzenli aralıklarla daha etkili ve verimli olma yollarını düşünmeli ve davranışlarını buna göre ayarlamalıdır.

Bu prensipler, çevik proje yönetiminin temelini oluşturan Agile Manifesto'nun değerlerini yansıtarak esneklik, işbirliği, müşteri memnuniyeti ve sürekli iyileştirme üzerine odaklanır.

Çevik yaklaşımlar, bu faktörleri yenilikçi süreçlerin temel bileşenleri olarak kabul ederek, değişime ve adaptasyona alan yaratarak öne çıkıyor. Değişimi genellikle ek bir maliyet olarak gören geleneksel yaklaşımların aksine, çevik metodolojiler belirsizliği, karmaşıklığı ve değişimi kucaklar ve hatta bazen teşvik eder. Bu dinamik bakış açısı, optimizasyon ve öngörülebilirlik yerine adaptasyonun, esnekliğin ve yanıt verebilirliğin önemini kabul eder (Bhavsar, 2020).

Çevik bağlamda uyarlanabilir proje yönetimi, değişikliklerin bir projenin herhangi bir aşamasında meydana gelebileceğini kabul eder ve Çevik Manifesto'nun, belirlenmiş planlara sıkı sıkıya bağlı kalmak yerine değişime esnek adaptasyonu önceliklendiren değerleriyle uyumludur. Bu uyarlanabilirlik yalnızca proje planlarına uygulanmaz, aynı zamanda birbirine bağlı, otonom araçlara sahip karmaşık bir uyarlanabilir sistem olarak kavramsallaştırılan çevik ekibin kendisine de uzanır. Çevik ekipler, etkileşimlere yanıt olarak yapıları veya davranışları değiştirme, kendi kendini organize etme yoluyla proaktif ve doğrusal olmayan bir evrim sergileme yetenekleriyle karakterize edilir.

Karmaşık uyarlanabilir sistem perspektifine göre ekibin uyarlanabilirliği, ekip üyeleri, liderler, müşteriler ve organizasyonel çevre arasındaki etkileşimlerden ortaya çıkar. Bu etkileşimler geçici yetkilendirmeye yol açarak ekiplerin gereksinimlerdeki ve dış ortamdaki değişikliklere aktif olarak tepki vermesine ve uyum sağlamasına olanak tanır.

Çevik ekipler için müşteri için değer yaratmak, yerleşik planlara sıkı sıkıya bağlı kalmaktan önceliklidir. Bu müşteri odaklı yaklaşım, ekiplerin

ürünleri ve süreçleri gelişen gereksinimlere ve koşullara uyacak şekilde uyarlamasına olanak tanır. Bu esneklik, yaratıcı düşüncenin genellikle erken aşamalarla sınırlı olduğu geleneksel yaklaşımların aksine, proje boyunca yaratıcılığın kullanım alanını genişletir.

Geleneksel şelale temelli yaklaşımlarda yaratıcılık genellikle "bulanık ön uçta (fuzzy front end)" yoğunlaşır ve sonraki aşamalarda yaratıcı düşünceye daha az vurgu yapılır. Çevik metodolojiler sürekli yaratıcılığı teşvik ederek ekiplerin çözümleri geliştirmesine, yeni fikirler sunmasına ve potansiyel olarak değerli kavramların kullanımını en üst düzeye çıkarmasına olanak tanır. Değişime uyum sağlama ve değişim sağlama yeteneği yalnızca proje başarısı için kritik öneme sahip değildir, aynı zamanda ekip içindeki yaratıcılığı da teşvik eder.

Çevik yaklaşımlar, yeni olasılıkları araştırmayı, test etmeyi ve denemeyi ön plana çıkararak keşif için verimli bir ortam sağlar. Bu yaklaşımlar, yaratıcı bir arama ve keşif süreciyle potansiyel çözümleri belirlemeye odaklanır. Başlangıçta yazılım geliştirme için tasarlanan çevik metodolojiler, net bir tanımlı veya çözümü olmayan karmaşık ve zorlu sorunları ele almak için kullanılır. Çevik uygulamalar, deney yapmayı teşvik eder, hatalardan ders çıkarılmasını sağlar ve öngörülemeyen zorluklarla başa çıkmak için yaratıcılığı destekler. Keşif ruhu, çevik yaklaşımlara, özellikle de değişken gereksinimler ve deneysel teknolojilerle karakterize edilen keşif projelerine derinlemesine yerleşmiştir. Yinelemeli (iterative) ve artımlı (incremental) proje yaşam döngüsü, ortaya çıkan ve keşfedici tasarım süreçleri, proje ekiplerinin yapısal ve psikolojik olarak güçlendirilmesi ve çeşitli liderlik stilleri gibi çevik uygulamalar, keşfetmeye ve yaratıcılığa olanak sağlayan bir ortam yaratılmasına katkıda bulunur.

**Yinelemeli ve Artımlı Proje Yaşam Döngüsü:** Bu yaklaşım, proje boyunca alternatif çözümlerin aranmasını ve keşfedilmesini sağlar. Dinamik ve duyarlı bir proje ortamını teşvik ederek hedeflerin ve araçların zaman içinde uyarlanmasına olanak tanır.

**Yapısal Güçlendirme:** Güçlendirilmiş ekipler oldukça özertir ve ekip üyelerinin potansiyel çözümlerden oluşan bir evreni keşfetmesine olanak tanır. Deneysellik demokratikleştirilmiştir ve farklı yeterliliklere sahip, kendi kendini organize eden ekipler, yaratıcı düşünmeyi ve yeni bilginin yaratılmasını teşvik eder.

**Liderlik Stilleri:** Çevik uygulamalar, dönüştürücü, güçlendirici, hizmetkar ve özgün liderlik gibi "yumuşak" liderlik stillerini destekler. Bu liderlik tarzları ekip içinde yaratıcı düşünceye ve sürekli yeniliğe olanak sağlar (Özdemir, Çetin, 2019).

**Görev Özerkliği:** Görev özerkliği, yapısal yetkilendirmeyle birleştiğinde yaratıcı düşünmeyi destekler. Çevik ekipler, yenilikçi çözümlerin üretilmesine katkıda bulunarak keşfetmeye ve denemeye teşvik edilir.

**İç Çeşitlilik:** Çevik ekipler içindeki çeşitlilik, bireysel bilgi havuzları, deneyimler, yeterlilikler ve düşünme tarzlarının yaratıcı bir sinerjisiyle sonuçlanır. Ampirik çalışmalar, bilişsel veya bilgisel çeşitliliğin belirli koşullar altında ekip ve bireysel yaratıcılığı artırdığını ileri sürmektedir.

**Keşif Ortamı:** Çevik ekipler, geniş arama ve keşifleri teşvik ederek ortak bir keşif ortamı algısını teşvik eder. Bu ortak zihniyet, özellikle ekip üyelerinin başlangıçta düşük yaratıcı öz yeterliliğe sahip olduğu durumlarda, yaratıcı performansı destekler.

Çevik proje ekipleri, sürekli inovasyonun müşteriye değer sunmanın itici gücü olduğunu düşünerek açıkça odaklanıyor. Yaratıcılık, yeniliğin kaynağı olarak kabul edilir ve çevik yaklaşımlar, keşfetmeyi ve yaratıcı ifadeyi aktif olarak destekleyen mekanizmalar sunar. Yazılım geliştirmenin yinelenen süreci, yaratıcı sürecin doğrusal olmayan ve yinelenen yapısını yansıtarak ekiplerin farklı konfigürasyonlar arasında gezinmesine olanak tanır (Olszewski, 2023).

## **2.2. Çevik Proje Yönetiminin Endüstri İçin Faydaları ve Kısıtları**

Çevik metodolojiler dahilinde işbirliği, hem iş hem de geliştirme ekipleri dahil olmak üzere proje ekibi üyeleri arasındaki günlük etkileşimi içerir. Bu sürekli ve yakın işbirliği, çevik yaklaşımları geleneksel yaklaşımlardan ayır. Kendi kendini organize eden ekiplerin başarısı ve müşterilerin geliştirme çalışmalarına aktif katılımı, çevik projelerin başarısında belirleyici faktörler olarak tanımlanır.

Çevik proje yönetiminde koordinasyon mekanizmaları, düzenli senkronizasyon toplantıları gibi alternatif işletim uygulamalarını içerir. Çoğu zaman etkileşimli olan bu toplantılar bilgi alışverişini ve yeni bilgilerin oluşmasını kolaylaştırır. Çevik ekiplerin kendi kendini organize etme

yeteneğinin sağladığı dağınık ekip yönetimi biçimi, iletişim ve topluluk açısından daha iyi sonuçlara katkıda bulunur.

Çevik metodolojilerde iletişim doğrudandır ve sözlü ve yüz yüze etkileşimleri vurgular. Ek olarak, sıralamadan kaynaklanan çevresel bilinçle ilgili osmotik iletişim, anlık ve çift yönlü bilgi alışverişini teşvik ederek toplantı raporları gibi aracı yapılara olan ihtiyacı azaltır. Şeffaf iletişim, sonucu etkileyen sürecin her yönünün ürün geliştirmede yer alan tüm paydaşlar tarafından görünür olmasını sağlayan önemli bir husustur.

Çevik metodolojiler, proje katılımcıları arasındaki sosyal etkileşimlerin niteliğini ve niceliğini düzenleyen ilke ve uygulamaları ortaya koyar. Örnekler arasında günlük stand-up toplantıları, dürüst iletişim, ikili programlama ve paylaşılan kod yer alır. Bu uygulamalar hem resmi hem de gayri resmi iletişimi geliştirerek sosyal etkileşimlerin artmasına ve proje başarısının artmasına katkıda bulunur.

Çevik yaklaşımlarda örtülü bilginin yönetimi odak noktasıdır ve diyalog ve sosyal etkileşimleri bilgi aktarımı için temel kılar. Çevik metodolojiler, zihinlerin bir araya geldiği ortamda yalnızca gerçeklerin paylaşılmasını değil, aynı zamanda dönüştürülüp yeniden şekillendirilmesini sağlayarak yaratıcılığı ve yeniliği teşvik eder. Çevik proje yönetiminde sosyal etkileşimler, bilgi aktarımı ve yeni fikirlerin işbirlikçi yaratılması için temel araç olarak hizmet eder (Highsmith, 2002).

Çevik proje ekiplerindeki yaratıcılık, özneler arası etkileşim alanında gerçekleşen, kendiliğinden ortaya çıkan ve dağınık bir süreç olarak kabul edilir. Proje boyunca ekip üyeleri ve paydaşlar arasındaki insan etkileşimlerinden oluşan ağ, fikirlerin üretilmesini, tartışılmasını, geliştirilmesini ve değerlendirilmesini sağlar; böylece yaratıcılığın ortaya çıkmasına zemin hazırlar. Çevik proje yönetiminin yarattığı sosyal etkileşim alanı bu nedenle üretken sosyal etkileşimleri besleyen, projelerin başarısına ve yenilikçiliğine katkıda bulunan bir alandır.

### **2.2.1. Çevik Yöntemlerin Felsefesinden Kaynaklanan Faydaları**

Esneklik ve Değişikliklere Açıklık: Çevik yöntemler, projenin süresince değişikliklere hoşgörü gösterir ve hatta değişiklikleri teşvik eder. İteratif ve yinelemeli süreç yapısı, değişen şartların etkili bir şekilde yönetilmesini sağlar (Chen, 2023).



**Moral ve Motivasyon Artışı:** Ayaküstü kısa toplantılar ve yüz yüze iletişim prensipleri, çevik yöntemlerin insan ve iletişim merkezli süreçlerini destekler. Bu sayede proje elemanlarının moral ve motivasyonu artar, değerli bilgi ve görüşlerin paylaşımı ile üretkenlik seviyeleri yükselir.

**İlerleme İzleme ve Risk Azaltma:** Kısa süreli yinelemeler ve çalışan ürünlerin sık teslimatı, projenin ilerlemesinin sağlıklı bir şekilde izlenmesini sağlar. Bu durum, proje riskini azaltır, muhtemel hataların erken tespit edilmesine olanak tanır, teslimat öngörülebilirliği artar ve ürün pazara daha çabuk ulaşır.

**İş Süreçleri ve Yazılım Geliştirme Süreçlerinin Entegrasyonu:** Müşteri veya kullanıcıların proje elemanları ile yüz yüze iletişim kurabilmesi, iş süreçleri ile yazılım geliştirme süreçlerinin entegrasyon seviyesini yükseltir. Bu, istenen özelliklerin tam olarak ifade edilmesiyle yazılımın fonksiyonel kalitesini artırır ve müşteri memnuniyeti sağlar.

**Hızlı Geri Dönüş ve Hataların Düzeltilmesi:** Çevik yöntemler, uygulanan safhalar arası geçişlere ve geri dönüşlere müsait olduğu için süreç devam ederken tespit edilen geriye dönük aksaklıklar kolaylıkla düzeltilebilir.

**Hafif Dokümantasyon ve İş Yükünün Azaltılması:** Çevik yöntemler genellikle üretilen yazılımın sadece ürün özelliklerini dokümantasyona çevirir ve diğer süreçleri hariç tutar. Bu, hafif dokümantasyonun uygulanmasını sağlar ve iş yükünü azaltır.

### **2.2.2. Çevik Yöntemlerin Kısıtları**

**Uzaktan İletişim Zorlukları:** Çevik süreçler iletişim merkezli olduğu için proje elemanlarının aynı ortamda bulunmaması, özellikle uzaktan çalışma durumlarında gelişim üzerinde olumsuz bir etkiye neden olabilir. Uzaktan iletişim teknolojileri kullanılabilir, ancak bu maliyeti artırabilir (Denning, 2013).

**Alt Yüklenici Zorlukları:** Alt yükleniciler için belirli ve değişmeyen gereksinimler, teklif ve kontrat yapılabilmesi için gereklidir. Çevik süreçlerin belirsiz ortamı, alt yüklenici uygulamalarını zorlaştırabilir.

**Büyük ve Karmaşık Sistemlerde Zorlanma:** Fonksiyonel bütünlük gerektiren büyük ve karmaşık sistemler, yinelemeler için uygun parçalara bölünemeyebilir (Sungkur, Ramasawmy, 2014).

**Düşük Müşteri Katılımı:** Müşteri veya son kullanıcıların düşük katılımı, gereksinimlerin doğru biçimde tanımlanmasını zorlaştırabilir.

**Planlama Zorlukları:** Değişime açık olması nedeniyle çevik projelerin kaynak ve kapsam planlaması zor olabilir.

**Yetersiz Dokümantasyon:** "Gerektiği kadar" anlayışı ile hazırlanan dokümantasyon, projeye sonradan katılan geliştiriciler ve bakım-idame safhalarını olumsuz etkileyebilir.

**Yeteneksiz Takım Üyeleri:** Takımların kendi kendini organize etmesi, yeteneksiz veya tecrübesiz elemanların takım performansını düşürmesine neden olabilir.

**Belirsiz Öncelikler:** Önceliklerini belirleyemeyen veya sık sık değiştiren müşteriler, planlamaları olumsuz etkileyebilir (Denning, 2013).

**Tekrar Kullanılabilirlik Sorunları:** Çevik yöntemler, spesifik problemlere yönelik çözümler geliştirdiği için ürünlerin diğer projelerde yeniden kullanılabilirliği sınırlı olabilir.

**Hata Toleransı Olmayan Sistemler İçin Yetersiz Test ve Kalite Kontrol:** Hayati sistemlerde veya büyük maddi zararlar doğurabilecek sistemlerde tolere edilemeyeceği durumlarda, çevik yöntemlerin test ve kalite kontrol yöntemleri yetersiz olabilir (Özdemir, 2020).

**Kullanıcı Tatmini ve Deneyimi Göz Ardı Edilebilir:** Çevik yöntemlerde genellikle müşteri memnuniyeti odaklı olursa da kullanıcı ara yüzü ve deneyimi gibi kullanıcı tatmini ile ilgili konular göz ardı edilebilir.

### **2.3. Çevik Proje Yönetiminin Kullanıldığı Sektörler**

**Üretim Sektörü:** Çevik proje yönetimi, özellikle fiziksel ürünlerin üretildiği işletmelerde kayıpları azaltmak, verimliliği artırmak ve maliyetleri düşürmek amacıyla ortaya çıkmıştır.

**Yazılım Sektörü:** Çevik proje yönetimi, yazılım endüstrisinde büyük bir dönüşümü tetiklemiştir. Çevik yazılım geliştirme, müşteri memnuniyetini, hedef odaklılığı ve üretkenliği maksimize etmeyi amaçlar.

**Genel İş Sektörü:** Ticari çeviklik, kurumsal çeviklik, çevik organizasyon, çevik işgücü, çevik BT, çevik üretim, çevik tedarik zinciri gibi farklı alanlarda çevik yaklaşımların benimsenmesi mümkündür.

**Hibrit Yaklaşımlar:** Fiziksel ürünlerin üretildiği sektörlerde, yazılım sektörü için tanımlanan çevik unsurların tam anlamıyla uygulanamaması durumunda, hibrit yöntemlere ihtiyaç duyulabilir. Klasik yöntemlerle çevik yaklaşımların birleştirilmesi gerekebilir.

### 3. ÇEVİK PROJE YÖNETİMİN FARKI

Çevik proje yönetimi, geleneksel proje yönetimi metodolojilerinden farklı bir yaklaşım benimser.

**Esneklik ve Uyum Yeteneği:** Çevik proje yönetimi, değişen müşteri gereksinimlerine ve proje koşullarına hızlı bir şekilde adapte olabilmeye yeteneğine odaklanır. Geleneksel yönetim metodolojileri genellikle sabit bir plana bağlı kalma eğilimindeyken, çevik yaklaşım değişen ihtiyaçlara uyum sağlar.

**Tekrarlı ve Artımlı Gelişim:** Çevik proje yönetimi, proje sürecini küçük, tekrarlanabilir parçalara böler. Her iterasyon sonunda işlevsel bir ürün elde edilir ve bu, müşteri geri bildirimine dayalı olarak geliştirilir. Geleneksel yönetim metodolojileri genellikle bir bütün olarak planlanan ve uygulanan daha uzun vadeli süreçlere odaklanır.

**Müşteri Katılımı ve İletişim:** Çevik proje yönetimi, müşteri katılımını ve geri bildirim almayı vurgular. Müşteri, projenin her aşamasında sürece dahil edilir ve değişen gereksinimlere anında tepki verilir. Geleneksel yönetim yaklaşımlarında müşteri ile etkileşim genellikle belirli aşamalarda sınırlıdır.

**Takım İşbirliği ve Sorumluluk:** Çevik proje yönetimi, küçük, kendine yeten ve işbirliği odaklı ekiplerin oluşturulmasını teşvik eder. Takımlar genellikle bir arada çalışır, kararlar birlikte alınır ve sorumluluklar paylaşılır. Geleneksel yönetimde daha sık hiyerarşik bir yapı bulunabilir (Yılmaz, 2018).

**Sürekli İyileştirme ve Değer Odaklılık:** Çevik yaklaşım, sürekli iyileştirme prensibine dayanır. Takımlar, sürekli olarak performanslarını gözden geçirir ve süreçlerini geliştirmeye odaklanır. Ayrıca, müşteriye değer sağlamak üzerine odaklanır. Geleneksel yönetim metodolojilerinde iyileştirme genellikle daha uzun vadeli planlamalara dayanır.

#### 3.1.Çevik Yönetim ile Waterfall Arasındaki Farklılıkları

Çevik proje yönetimi ve geleneksel yönetim metodolojileri arasındaki farklar, projenin doğası, gereksinimleri ve hedefleri göz önüne alındığında

tercih edilecek yönetim yaklaşımını belirlemeye yardımcı olabilir (Yucalar, 2020).

Geleneksel yöntemlerden biri olan Waterfall proje yönetimi ile çevik proje yönetimi karşılaştıracak olursak (Kayacan, 2017):

#### Planlama ve Esneklik:

**Waterfall Proje Yönetimi:** Waterfall modelinde planlama genellikle proje başlamadan önce detaylı bir şekilde yapılır ve daha sonra bu plana sıkı sıkıya bağlı kalınır. Değişikliklere karşı direnç gösterir.

**Çevik Proje Yönetimi:** Çevik yaklaşım, değişen gereksinimlere hızla adapte olabilmek için esnek bir planlama yapısını benimser. Planlar, zamanla gelişen projenin dinamiklerine uyacak şekilde sürekli olarak revize edilir.

#### İteratif Gelişim:

**Waterfall Proje Yönetimi:** Waterfall modeli, projeyi bir bütün olarak planlar ve uygular. İlk aşamadan sonra bir sonraki aşamaya geçilir ve genellikle geri dönüş mümkün değildir.

**Çevik Proje Yönetimi:** Çevik model, projeyi küçük ve tekrarlanabilir parçalara böler. Her iterasyon sonunda bir ürün elde edilir ve bu ürün müşteri geri bildirimine dayalı olarak geliştirilir.

#### Müşteri Katılımı:

**Waterfall Proje Yönetimi:** Waterfall modelinde müşteri genellikle projenin başında belirlenen gereksinimleri onaylar ve son ürünü görmek için genellikle projenin tamamlanmasını bekler.

**Çevik Proje Yönetimi:** Çevik yaklaşım müşteri katılımını vurgular. Müşteri, projenin her aşamasında aktif olarak sürece dahil edilir ve geri bildirimleri sürekli olarak alınır.

#### Hata Tespiti ve Düzeltme:

**Waterfall Proje Yönetimi:** Waterfall modelinde hatalar genellikle sonraki aşamalarda tespit edilir ve düzeltilir. Bu durumda maliyet ve zaman artabilir.

**Çevik Proje Yönetimi:** Çevik model sürekli entegrasyon ve test etme süreçleriyle hataları daha erken aşamalarda tespit eder ve düzeltir.

**Proje Kontrolü:**

Waterfall Proje Yönetimi: Waterfall modeli, başlangıçta belirlenen plana sıkı sıkıya bağlıdır ve bu nedenle değişikliklere karşı direnç gösterebilir.

Çevik Proje Yönetimi: Çevik model sürekli kontrol ve adapte olma yeteneği ile proje sürecini yönetir. Kontrol, sürekli olarak değişen projenin dinamiklerine uyacak şekilde sağlanır.

**Takım İşbirliği:**

Waterfall Proje Yönetimi: Waterfall modelinde genellikle hiyerarşik bir yapı bulunur ve belirli rollere sahip ekipler çalışır.

Çevik Proje Yönetimi: Çevik model, işbirliği odaklı küçük, kendine yeten ekiplerin oluşturulmasını teşvik eder.

**Tablo 4:** Çevik Proje Yönetimi ile Waterfall Proje Yönetimi Farkları Tablosu

	ÇEVİK	WATERFALL
Planlama Ve Esneklik	Hızlı Adaptasyon	Plana Bağlı Kalma
İteratif Gelişim	Projeyi Küçük Parçalara Böler	Projeyi Bütün Olarak Planlar
Müşteri Katılımı	Projenin Başından Sonuna Katılım	Proje Başında Katılım
Hata Tespiti ve Düzeltme	Anında Tespit	Sonraki Aşamalarda Tespit
Proje Kontrolü	Esnek ve Değişken	Başta Belirlenen Plan
Takım İşbirliği	Birimsel ve İşbirliği Odaklı	Hiyerarşik

**3.2.Çevik Yönetim ile Yalın Üretim Arasındaki Benzerlik ve Farklılıkları**

Çevik (Agile) Proje Yönetimi, Yalın (Lean) prensiplerinden birçok özelliği içerir ve bu iki yaklaşım arasında benzerlikler bulunmaktadır. Çevik, yönetim süreçlerini esnek ve müşteri odaklı hale getirerek israfları azaltmayı ve sürekli iyileştirmeyi hedefler (de Raedemaecker, 2020). Çevik yönetimin yalın prensipleriyle benzerlik gösteren bazı önemli noktalar (Lima, 2017):

**Müşteri Odaklılık:**

Çevik Proje Yönetimi: Müşteri taleplerine hızlı yanıt verme ve müşteri değeri oluşturma odaklıdır.

Yalın: Müşteri değeri oluşturmak ve müşteri taleplerine göre üretim yapmak temel prensiplerden biridir.

#### Esneklik ve Adaptasyon:

Çevik Proje Yönetimi: Değişen taleplere ve koşullara hızlı bir şekilde adapte olabilmeye yeteneği vurgulanır.

Yalın: Sürekli iyileştirme ve esneklik, Yalın üretimin temel unsurlarındandır.

#### İsrafların Azaltılması:

Çevik Proje Yönetimi: İsrafın azaltılması, gereksiz faaliyetlerin ve kaynakların ortadan kaldırılması üzerine odaklanır.

Yalın: Yalın prensipler, stokları azaltma, bekleme süreçlerini minimize etme ve gereksiz hareketleri ortadan kaldırma amacını taşır.

#### Küçük, Kendine Yeten Ekipler:

Çevik Proje Yönetimi: Küçük, etkili ve kendine yeten ekiplerin kullanılması teşvik edilir.

Yalın: Küçük ekipler ve katılımcı çalışma, Yalın üretimde önemli bir prensiptir.

#### Sürekli İyileştirme:

Çevik Proje Yönetimi: Sürekli iyileştirmeye dayalı bir yaklaşım benimser. İteratif gelişim ve sürekli geri bildirimle süreçleri optimize eder.

Yalın: Kaizen prensibi, sürekli iyileştirmeye vurgu yapar ve çalışanların sürekli olarak iş süreçlerini geliştirmesini önerir.

#### İletişim ve İşbirliği:

Çevik Proje Yönetimi: İletişim ve işbirliği önemlidir. Ekip içinde ve paydaşlarla etkileşim, başarılı bir Çevik üretim sürecinin temelidir.

Yalın: İşbirliği ve açık iletişim, Yalın prensiplerinin bir parçasıdır.

Her iki yaklaşım da hedeflerine ulaşmak için sürekli olarak süreçleri iyileştirmeye ve müşteri değeri oluşturmaya odaklanır. Çevik üretim, genellikle yazılım geliştirme alanında kullanılırken, Yalın üretim öncelikle imalat ve üretim süreçlerinde uygulanır. Ancak, iş dünyasındaki gelişmelerle birlikte, bu prensipler birbirine daha fazla yaklaşmış ve birleştirilmiş olabilir.

Bu iki yaklaşımın farklılıkları ise;

### Uygulama Alanları:

**Çevik Proje Yönetimi:** Genellikle yazılım geliştirme ve bilgi teknolojisi projelerinde kullanılır, ancak diğer endüstrilerde de benimsenmiştir.

**Yalın Üretim:** Başlangıçta üretim süreçlerini optimize etmek için geliştirilen Yalın, genellikle imalat ve üretim endüstrilerinde kullanılır. Ancak zaman içinde hizmet sektörü ve diğer alanlara da uyarlanmıştır.

### Odak Noktaları:

**Çevik Proje Yönetimi:** Genellikle projenin hızlı bir şekilde değerli sonuçlar üretmesi ve müşteri ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde yanıt vermesi üzerine odaklanır.

**Yalın Üretim:** Üretim süreçlerinde israfları ortadan kaldırmak, stok miktarını azaltmak, üretim süreçlerini optimize etmek ve kaliteyi artırmak gibi konulara odaklanır.

### Süreç Optimizasyonu:

**Çevik Proje Yönetimi:** Sürekli entegrasyon, sık iterasyonlar ve müşteri geri bildirimini üzerine odaklanır. Süreçler, esneklik ve müşteri taleplerine hızlı bir şekilde uyum sağlamak için tasarlanır.

**Yalın Üretim:** İş akışını optimize etmek, sürekli iyileştirmeye odaklanmak ve müşteri taleplerine göre esneklik sağlamak amacıyla süreçleri analiz eder.

### Değer Akışı Analizi:

**Çevik Proje Yönetimi:** Genellikle müşteri değerini ve iş süreçlerini görselleştirmek için kullanılan bir dizi araç ve teknik içerir.

**Yalın Üretim:** Değer akışı analizi, ürün veya hizmetin oluşturulmasındaki değerli ve israfli adımları belirlemek için kullanılır.

### Ekip Yapısı:

**Çevik Proje Yönetimi:** Küçük, kendine yeten ekipler üzerine odaklanır ve işbirliği ve iletişimi teşvik eder.

**Yalın Üretim:** İşbirliği ve takım çalışması önemlidir, ancak genellikle daha büyük ve karmaşık organizasyonlar içinde uygulanır.

**Tablo 5:** Çevik Proje Yönetimi ile Yalın Üretim Farkları Tablosu

	ÇEVİK	YALIN
Odak Nokta	Müşteri İhtiyaçları	İsrafları Azaltma
Süreç Optimizasyonu	Sürekli Entegrasyon	İş Akışı Optimize Etmek
Değer Akış Analizi	İş ve Süreçleri Görselleştirmek	Ürün veya Hizmeti Oluşturmak
Ekip Yapısı	Küçük	Büyük
Uygulama Alanları	Genellikle Yazılım	Genellikle İmalat ve Üretim

#### 4. ÇEVİK PROJE YÖNETİMİ METOTLARI

Çevik metotları, proje yönetiminde esnek, müşteri odaklı ve iteratif bir yaklaşım benimseyen çeşitli yönetim çerçevelerini içerir. Bu metodolojiler, geleneksel proje yönetimi modellerine göre daha hızlı ve adaptasyon yeteneği daha yüksek olan bir süreç yönetimi anlayışını temsil eder. Scrum, Kanban, XP (eXtreme Programming) gibi popüler çevik metodolojiler, projeleri belirli zaman aralıklarında belli hedeflere odaklayan ve müşteri geri bildirimine önem veren bir model sunar (Surendra, Nazir, 2018). Çevik metotlar, ekiplerin sürekli iletişim ve işbirliği içinde çalışmasını teşvik eder ve sürekli iyileştirmeye dayalı bir kültür oluşturmayı hedefler. Bu yaklaşım, değişen müşteri ihtiyaçlarına hızlı uyum sağlamak, verimliliği artırmak ve değer odaklı bir projeye yönelmek amacıyla iş süreçlerini optimize etmeye odaklanır (Leybourne, 2009).

**Scrum:** Scrum, belirli bir süre içinde (genellikle 2-4 hafta) gerçekleşen iterasyonlara (sprint) dayalı bir çevik yönetim metodolojisidir. Scrum, ürün sahibi, geliştirici ve Scrum ustası gibi rolleri içerir ve düzenli olarak yapılan sprint toplantılarıyla sürekli iletişimi vurgular (Borandağ, 2020).

**Kanban:** Kanban, iş akışını görselleştirmeye odaklanan bir çevik metodolojidir. Kanban kartları ve tahtalar kullanarak işlerin ilerleme durumunu izler ve iş akışını optimize etmeyi amaçlar. Genellikle sürekli akış modeli ile çalışır.

**eXtreme Programming (XP):** XP, yazılım geliştirme projeleri için özellikle odaklanan bir çevik metodolojidir. Hızlı ve sık geliştirme, sürekli entegrasyon, test odaklı geliştirme, pair programming gibi pratikleri içerir.

**Crystal:** Crystal metodolojisi, projenin boyutuna, önceliğine ve kritikliğine bağlı olarak farklı varyasyonlara sahip bir dizi çevik metodoloji



içerir. Her Crystal metodolojisi, belirli bir projenin gereksinimlerine ve özelliklerine uyacak şekilde özelleştirilebilir.

**Dynamic Systems Development Method (DSDM):** DSDM, iş süreçlerini, rolleri ve prensipleri tanımlayan bir çevik proje yönetimi metodolojisidir. Prototipleme, test-driven development ve sık iterasyonlar gibi çeşitli prensipleri içerir.

**Feature-Driven Development (FDD):** FDD, büyük ve karmaşık yazılım projelerini yönetmek için kullanılan bir çevik metodolojidir. Fonksiyon temelli gelişim (feature-driven development), kısa iterasyonlar ve düzenli müşterileri geri bildirimini içerir.

**Lean Software Development:** Lean Software Development, Yalın üretim prensiplerini yazılım geliştirme süreçlerine uyarlamayı amaçlar. İsrafin azaltılması, değer akışı analizi, sürekli iyileştirme gibi Yalın prensiplerini içerir.

**Adaptive Project Framework (APF):** APF, esnek ve adaptif bir proje yönetim metodolojisi olup, projenin doğası ve karmaşıklığına uyum sağlamak için tasarlanmıştır. Sürekli değişim ve iyileştirmeyi vurgular.

80'lerin beklentileri Hirotaka Takeuchi ve Ikujiro Nonaka, yazılım geliştirme ekibinin ortak bir hedefe ulaşması için çalıştıkları takım içinde esnek ve kapsamlı bir ürün geliştirme stratejisi tanımlamışlardır. Bu strateji, bütünsel veya "rugby" yaklaşımı olarak tanımladıkları bir anlayışa dayanmaktadır. Rugby oyunundaki takımların bir araya gelme süreleri birlikte mesafe katetmesi gibi, ürün geliştirme sürecinde takım üyeleri birlikte nihai hedefe ulaşmak hedeflenmektedir (Yılmaz,2018).

Scrum Rugby'deki gibi, birçok ortak özelliği paylaşmaktadır. Örneğin, çevik proje yönetimi Scrum'ları, takım temelli bir yaklaşıma dayanan, kartvizit olarak tekrarlayan ve yönetici yetkileridir. Scrum, projeyi küçük, işlevsel donanım böler ve onun bir parçasının hızlı bir şekilde tamamlanmasını hedefler. Scrum, belirli zaman aralıklarında, Sprint adı verilen tekrarlayan döngülerle çalışır. Bu Sprint'ler, ekip tatili ile birlikte son bir dizi rehberli görevini tamamlamasını sağlar (Cervone, 2011).

Scrum'un diğer önemli özelliği, sürekli iletişim ve işbirliği üzerine odaklanmasıdır. Ekip üyeleri düzenli olarak bir araya gelir, ortakları paylaşır ve engelleri ele geçirir. Bu iletişim, proje sürecindeki hızlı değişikliklere hızlı

bir şekilde uyum sağlamayı ve zorlukları çözmeyi mümkün kılmaktadır (Sachdeva, 2016).. Scrum, proje sürecini şeffaflık ve öğrenmeyi sağlar. İlerleme düzenli olarak görsel olarak takip edilir ve ayrıntılı planlar ve öneriler revize edilir. Bu şekilde, hizmet özelliklerine ve önceliklere hızlı bir şekilde yanıt vermektedir.

Scrum kapsamında roller belirlenir ve takım içinde üç temel rol vardır (Elibol, 2017)::

**Scrum Master (Scrum Master) (SM):** Takımın başarılı bir şekilde Scrum yönetimi uygulamasına yardımcı olan yönetici pozisyonu üstlenir. Engelleri giderir, takım öğretir, Scrum ilkelerine uyum sağlar ve verimli çalışmasını sağlar.

**Ürün Sahibi (Product Owner) (PO):** Proje için karar kararı belirlediği kişidir. Müşteri, iş güvenliği belirler, ürün vizyonunu oluşturur ve yönlendirme yapar. Ürün sahibi, geliştirme ekibiyle yakın işbirliği içinde sonuçları netleştirir ve ürün değerini maksimize etmeye çalışır.

**Geliştirme Takımı (Developer Team) (DT):** Ürün parçalarından sorumlu olan ekiptir. Analistler, koruyucular, programcılar, testçiler vb. gibi farklı disiplinlerden gelen üyelerden oluşur. Takım, ürün sahibi gereksinimleri karşılamak için birlikte çalışır, Sprint boyunca hedeflenen işi tamamlar ve ürün güvenliğini sağlar (Sachdeva, 2016).

Bu rollerin her biri, Scrum sürecinde belirli görevlerini yerine getirir. Örneğin, Scrum Master ekiplerinin engellerini giderir, süreç yönetir ve ekiplerin Scrum birimlerine uygunluğunu sağlar. Ürün sahibi özelliklerini netleştirir, yönlendirme yapar ve ürün değerini yönetir (Schwaber, 2004).. Geliştirme takımı ise ürün özelliklerinden sorumludur, ayrıntılar tamamlar ve kaliteli bir ürün ortaya çıkar. Bu rollerin etkileşimi ve birlikte çalışması, Scrum'un başarılı bir şekilde geçmesini sağlar (Yegen, Gül, 2023).

Scrum'da Sprint, belirli bir zaman diliminde gerçekleşen tekrarlayan bir çalışmadır. Sprint, ürünün geliştirildiği, değerli özelliklerin oluşturulduğu ve tamamlanan işin teslim edildiği bir zaman dilimidir. Her Sprint, genellikle 1 ila 4 hafta arasında süren bir süreyi kapsar ve her biri ayrı bir Hedefe odaklanır (Sachdeva,2016).

Sprint sürecini aşağıdaki adımları içerir (Sachdeva,2016);

**Sprint Planlama Toplantısı (Sprint Planning Meeting):** Sprint başlangıcından önce, Scrum ekibi bir araya gelir ve bir Sprint planlama toplantısı yapar. Bu toplantıda, Sprint boyunca tamamlanacak işler belirlenir. Ürün sahibi, değerlendirmeleri ve takımları, bu önceliklere dayalı olarak işleri tahmin eder ve Sprint hedefini belirler.

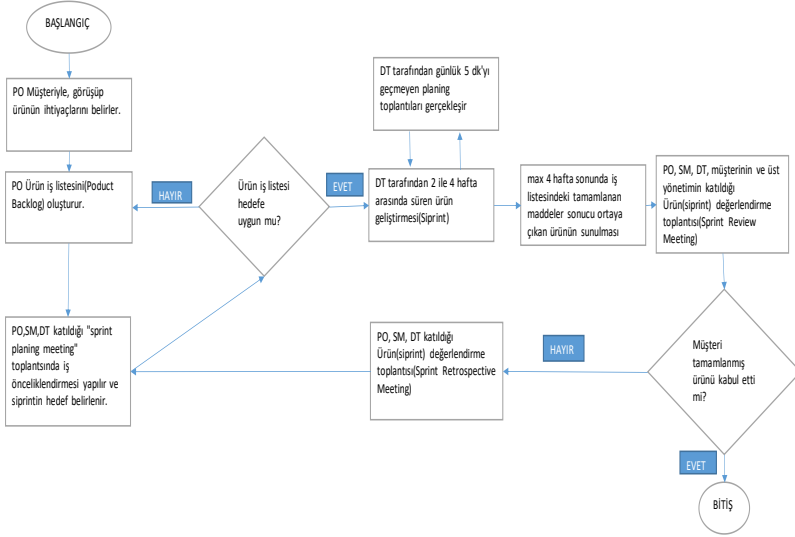
**Ürün İş Listesi (Sprint Backlog):** Ürün için istenen tüm özelliklerin, geliştirmelerin ve hata düzeltmelerinin önceliklendirilmiş bir listesidir. Ürün İş Listesi, Ürün Sahibi tarafından yönetilir ve geliştirme ekibi için tek gereksinim kaynağı olarak hizmet eder.

**Sprint:** Geliştirme ekibinin potansiyel olarak gönderilebilir bir ürün sağlamak için çalıştığı, tipik olarak 1 ila 4 hafta süren, zaman sınırlı bir yinelemedir. Her Sprint'in tanımlanmış bir hedefi ve yineleme sırasında ele alınacak Ürün İş Listesi'nden seçilmiş bir dizi ögesi bulunur.

**Günlük Stand-up toplantıları (Daily Scrum Meeting):** Sprint boyunca her gün düzenlenen kısıtlı toplantılardır. Takım üyeleri, çalışmalarını hakkında bilgi verir, gruplarını paylaşır ve engelleri tartışır. Stand-up toplantıları, iletişimleri artırmak, sorunları tespit etmek ve işbirliğini teşvik etmek için önemlidir.

**Sprint İlerleme Takibi (Sprint Review Meeting):** Takım, Sprint boyunca tamamlanan işler ve ilerlemeyi takip eder. Görev panoları veya diğer görsel araçları kullanarak, ekiplerin hangi işlerinin tamamlandığını, hangilerinin devam ettirdiğini ve hangilerinin henüz başlamadığını takip edilir.

**Sprint Sonu Değerlendirmesi (Sprint Retrospective Meeting):** ı Sprint sonunda, ekip bir demo hazırlar ve elde edilen çıktıları sunar. Bu, ürün sahibi ve diğer ilgili paydaşların Sprint hedefinin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediğini değerlendirilmesini sağlar. (Oberfell, 2019).



**Şekil 1: Scrum Akış Diyagramı**

Şekil 1’de bulunan akış diyagramı özetlenecek olursa:

- PO müşterilerle konuşarak ürün ihtiyaç ve özelliklerinin planlamasını gerçekleştirir. Bunun sonucunda ürün iş listesini hazırlar.

- SM, PO ve DT’nin katıldığı “Sprint Planlama Toplantısı” gerçekleştirilerek ürün iş listesinin uygunluğu tartışılır. Uygun kabul edilir ise iş paylaşımı yapılarak işlere başlanır. Eğer uygun değilse PO iş listesindeki düzenlemeleri gerçekleştirir ve tekrar toplantı yapılır.

- DT tarafından 2 ile 4 hafta sürecek “Sprint” döngüsü gerçekleştirilir. Bu süre içerisinde DT listedeki görevleri tamamlamaya odaklanır. Bunun içerisinde de günlük kendi içerisinde 5 dk’yı aşmayacak toplantılar gerçekleştirir. Sprint sonunda işler bitmemiş olsa bile sonraki aşama olan Sprint değerlendirme toplantısına geçilir.

- “Sprint Değerlendirme Toplantısına” müşteri, üst yönetim, PO, SM ve DT katılarak ürünün sprint boyunca tamamlanan kadar kısmının sunumu yapılır. Müşteriden yorum ve beklenti temin edilir.

- Toplantı sonrasında sadece PO, SM ve DT’nin katıldığı bir “Sprint Sonu Değerlendirme Toplantısı” daha gerçekleştirilir ve süreç değerlendirmesi yapılır. Bu değerlendirmeler ışığında PO ürün iş listesini güncelleyerek öteki sprint için hazır hale getirir.

- Bu süreç ürün müşteriye teslim edilecek hale gelinceye kadar devam eder.

## SONUÇ

Çevik proje yönetimi, özellikle yüksek kazanç potansiyeli taşıyan ve müşteri beklentilerinin sürekli değişim gösterdiği sektörlerde öne çıkan bir yönetim metodolojisidir. Bu yaklaşım, projelerde esneklik, hızlı adaptasyon ve müşteri odaklılık gibi önemli unsurları bir araya getirerek, işletmelerde rekabet avantajı sağlar. Yazılım geliştirme projelerinde popüler bir kullanım alanı bulmanın yanı sıra, üretim ve diğer sektörlerde yaygın bir şekilde uygulanabilir.

Çevik yönetimde, projeler küçük parçalara bölünerek her yinelemede belirli bir değer hedeflenir. Bu yöntem, projeyi sürekli olarak müşteri geri bildirimlerine göre optimize ederek hem müşteri odaklı hem de sonuçların sürekli olarak sunulmasını mümkün kılar. Bu sayede beklenmeyen değişimlere hızlı yanıt verilebilir, bu motorun daha verimli bir şekilde belirlenmesini sağlar.

Zaman ve maliyet takvimi, çevik yönetimin önemli katkılarından biridir. Sürecin esnek yapısı, kaynak aktarımını optimize eder ve potansiyel israfları en aza indirir. Örneğin, hataların erken aşamalarda tespit edilmesi ve bilgisayarlar sayesinde, aşamalı ilerleyen aşamalarda karşılaşılabilecek yüksek değişim düzeltme işlemleri engellenir.

Ayrıca, yönetim yönetimi yalnızca teknik olanaklara değil, ekip kapasitesi ve iş verimliliğine de olumlu etki eder. Küçük ve bağımsız ekipler, işbirliği ve açık iletişim temelinde çalışır. Bu durumda, ekiplerin daha yaratıcı ve verimli olmalarını sağlarken, iş tatmini ve motivasyonu artırır.

. Sonuç olarak, esnek proje yönetimi, dinamik, modern ve sürdürülebilir bir yönetim anlayışı sunarak yalnızca müşteri beklentilerini karşılamakla kalmaz, aynı zamanda eksiksiz çözümler üreterek ticaretin gelişmesine katkı sağlar. Geleneksel yönetim yaklaşımlarıyla kıyaslandığında, esnek çözümler daha esnek, müşteri odaklı ve kapsamlı bir çerçeve sunar. Bu nedenle, günümüz iş dünyasında yaşanan hızlı değişimlerin, çağdaş proje yönetiminin vazgeçilmez bir değeri haline gelmektedir.

## KAYNAKÇA

- Abdulhalim, H., Hassan, R., & Karani, H. (2018). "The impact of Agile practices on organizational effectiveness: The interaction with leadership and management strategies." *Journal of Service Science and Management*, 11(2), 130-146.
- Agile Türkiye. (2024). "Türkiye'nin çeviklik raporu." *Agile Türkiye*. Retrieved from <https://agileturkiye.org>
- Aydiner, E., & Diğerleri, A. (2020). "Scrum yöntemini uygulayan işletmelerin başarı faktörleri." *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 13(4), 465-474.
- Bhavsar, R., et al. (2020). "Agile methodologies in software development: Improving cost-effectiveness and project outcomes." *Journal of Applied Technical and Educational Sciences*.
- Borandağ, E., & Yücalar, F. (2020). "Arttırılmış Gerçeklik İle Scrum Task Board Uygulaması." *Uluslararası Yönetim Bilişim Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi / International Journal of Management Information Systems and Computer Science*, 4(1), 1-12.
- Cansu G., & Karakaya, B. (2016). "Yazılım geliştirme süreçlerine dair literatür incelemesi." Retrieved from <https://www.enocta.com>
- Cervone, H. F. (2011). "Understanding Agile Project Management Methods Using Scrum." *OCLC Systems & Services: International Digital Library Perspectives*, Vol. 27, Iss. 1, ss. 18-22. doi: 10.1108/10650751111106528.
- Ceylan, Z., & Gürsev, S. (Tarih). "AHP ve TOPSIS Yöntemleri ile Bilgi Teknolojileri Projelerinde Scrum-Kanban-Şelale Uygulamaları Karşılaştırması." *Samsun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği*, 55420, Samsun, Turkey; *Marmara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği*, 34722, İstanbul, Turkey
- Chen, J., Huang, R., Jiang, Y., Pu, C., Huang, X., Sun, X., & Liu, Y. (2023). "ScrumOntoSPL: Collaborative Method of Agile Product Line Engineering for Software Resource Reuse." Key Laboratory of Industrial Internet of Things & Networked Control, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China
- Daneshgari, P. (2009). "Agile construction for the electrical contractor." Jones and Bartlett Publishers.

- de Raedemaecker, S., Handscomb, C., Jautelat, S., Rodriguez, M., & Wienke, L. (2020). "Operations Practice: Lean Management or Agile? The Right Answer May Be Both." © Getty Images.
- Demir, S. D., Bryde, D. J., & Sertyesilisik, B. (2013). "Introducing AgiLean to construction project management." *Journal of Modern Project Management*, 1(3).
- Demir, S. T., Bryde, D. J., Fearon, D. J., & Ochieng, E. G. (2012). "Re-conceptualising agile for lean construction: The case for agilean project management." *In Procs 28th Annual ARCOM Conference* (pp. 3-5).
- Denning, S. (2013). "Why Agile can be a game changer for managing continuous innovation in many industries." *Strategy & Leadership*, Vol. 41, Iss. 2, ss. 5-11. doi: 10.1108/10878571311318187
- Elibol, M., & Selçukcan Erol, Ç. (2017). "Scrum Metodu Kullanılarak Bir Mobil Uygulama Geliştirme Sürecinin Gerçekleştirilmesi." *Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri Eğitimi Bölümü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye; Enformatik Bölümü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul, Türkiye*.
- Gencer, C., & Kayacan, A. (2017). "Yazılım Proje Yönetimi: Şelale Modeli ve Çevik Yöntemlerin Karşılaştırılması." *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye; Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye*.
- Highsmith, J. (2002). "Agile software development ecosystems." *Addison-Wesley*.
- Kataria, A., Jain, R., & Gupta, P. (2017). "The impact of agile methodologies on organizational cultural change." *Journal of Organizational Change Management*, 30(2), 193-210.
- Kayacan, A. (2017). *Şelale Modeli ve Çevik Yöntemlerin Yazılım Proje Yönetimi Bakış Açısıyla İncelenmesi ve Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı, Bilgi Enstitüsü. Eylül 2017.
- Koskela, L. & Howell, G. A. (2002). "The underlying theory of project management is obsolete." *Paper presented at PMI® Research Conference 2002: Frontiers of Project Management Research and Applications, Seattle, Washington*. Newtown Square, PA: Project Management Institute.

- Kumar, S. S., & McArthur, J. J. (2015). "Streamlining building information model creation using agile project management." *Building Information Modelling in Design, Construction and Operations*, 229-240.
- Leybourne, S. A. (2009). "Improvisation and agile project management: a comparative consideration." *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 2, Iss. 4, ss. 519-535. doi: 10.1108/17538370910991124
- Lima, R. M. (2017). "Characterising Project Management of Lean Initiatives in Industrial Companies — Crossing Perspectives Based on Case Studies." School of Engineering, University of Minho, Portugal. ORCID: 0000-0002-7991-0132.
- Ng, G. C. (2018). "Agile methodologies and their success factors in various industries." *International Journal of Project Management*, 36(5), 639-652. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2018.05.003>.
- Olszewski, M. (2023). "Agile Project Management as a Stage for Creativity: A Conceptual Framework of Five Creativity-Conducive Spaces." *International Journal of Managing Projects in Business*, Vol. 16, No. 3, 2023, ss. 496-520. Emerald Publishing Limited. ISSN: 1753-8378. DOI: 10.1108/IJMPB-05-2022-0111.
- Özdemir, N., & Çetin, M. (2019). "Çevik liderlik ölçeğinin geliştirilmesine yönelik güvenilirlik ve geçerlilik çalışması: Eğitim örgütleri üzerine bir uygulama." *R&S-Research Studies Anatolia Journal*, 2(7), 312-332.
- Özdemir, E. (2020). "Büyük Ölçekli Firmalarda Proje Yönetiminde Çevik Yaklaşımlar." *Yüksek Lisans Tezi, Işık Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Anabilim Dalı, Yöneticiler İçin İşletme Yönetimi Bilim Dalı*. Danışman: Dr. Gamze Karayaz.
- Özen, M. T., & Koç, M. (2021). "Çevik Yönetime Dair Bazı Tespitler: Yazılım Sektöründe Hazırlanan Raporlar Kapsamında Dönemsel Bir Analiz." *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 4(2), 385-408. <https://doi.org/10.33712/mana.873468>
- Ribeiro, J. L., & Fernandes, L. A. (2010). "Agile project management as an effective tool for small-scale projects." *Proceedings of the ARCOM Annual Conference*, 1, 743-752.
- Sachdeva, S. (2016). "Scrum Methodology." *International Journal of Engineering and Computer Science*, ISSN: 2319-7242, Volume 5, Issue 6, June 2016, Pages 16792-16799.
- Schwaber, K. (2004). "Agile Project Management with Scrum." Microsoft Press.



- Smith, J., Johnson, A. (2017). "SCRUM Model for Agile Methodology." In International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2017).
- Stouten, J., Rousseau, D. M., & De Cremer, D. (2018). "The psychology of organizational change: A framework for fostering effective change implementation." *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 142, 107-120.
- Stracusser, B. (2015). "Agile project management principles applied to a nuclear power plant project." *Project Management Institute*.
- Sungkur, R. K., & Ramasawmy, M. (2014). "Knowledge4Scrum, a novel knowledge management tool for agile distributed teams." *VINE*, Vol. 44, Iss. 3, ss. 394-419. doi: 10.1108/VINE-12-2013-0068.
- Surendra, V. & Nazir, M. (2018). "The impact of agile methodologies on team performance and customer satisfaction." *Journal of Agile Project Management*, 13(2), 77-94.
- Tomek, R. & Kalinichuk, S. (2015). "Agile PM and BIM: A hybrid scheduling approach for a technological construction project." *Procedia Engineering*, 123, 557-564.
- Twidale, M.B. & Nichols, D.M. (2013) Agile methods for agile universities, in Besley, T.A.C. and Peters, M.A. (eds.), *Re-imagining the Creative University for the 21st Century*. Sense Publishers. 27-48.
- Yegen, N., & Gül, S. (2023). "Çevik Proje Yönetiminde Scrum Takımlarının Başarı Sınıflandırmasına Yönelik Bir ÇKKV Modeli: AHS Bütünleşik TOPSIS-Sort-B." *Bahçeşehir Üniversitesi İşletme Mühendisliği / Migros Ticaret A.Ş., Türkiye; Bahçeşehir Üniversitesi İşletme Mühendisliği, Türkiye*.
- Yılmaz, H.Ç. (2018). "Çevik Proje Yönetiminin Teknoloji Alanında PRINCE2 Proje Yönetim Metodolojisi İle Karşılaştırılması." Yüksek Lisans Tezi, İşletme Anabilim Dalı, İşletme Yüksek Lisans Programı, Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Halefşan Sümen, T.C. Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Yucalar, F. (2020). "Kurumsal Bilgi Sistemi Uygulamaları İçin Popüler Proje Yönetim Yaklaşımları." In *Araç Plaka Takip Sistemi (BAP) ve Emergency Location Reporting System Projeleri Üzerinde Çalışan Bazı Yazarlar*, (s. sayfa numaraları). Manisa Celal Bayar Üniversitesi.
- Yusuf, S., Demir, S., & Owen, P. (2012). "Applying Agile principles in construction: A case study of C-Soc." *Proceedings of the ARCOM Annual Conference*, 1, 743-752.

## **BÖLÜM 3**

### **VERİ YAPILARI ÜZERİNE DERLEME: TEORİK YAKLAŞIMLAR VE UYGULAMA PERSPEKTİFLERİ**

Dr. Günay TEMÜR<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556463>

---

<sup>1</sup> Düzce Üniversitesi, Düzce, Türkiye. [gunaytemur@duzce.edu.tr](mailto:gunaytemur@duzce.edu.tr), Orcid ID: 0000-0002-7197-5804



## GİRİŞ

Veri yapıları, bilgisayar biliminin en temel yapı taşlarından biridir. Yazılım geliştirme sürecinin temel bir bileşeni olan bu yöntem, sistemlerin performansını, esnekliğini ve verimliliğini optimize etmede hayati bir rol oynamaktadır. Veri yapılarının doğru şekilde kullanılması, verimliliği artırırken, aynı zamanda programların karmaşık verilerle başa çıkabilme yeteneğini de geliştirir. Soyut kavramlar olarak bilinen veri yapıları kavramları hem teorik hem de uygulamalı alanlarda oldukça büyük bir öneme sahiptir. Verilerin bir program içinde nasıl organize edildiğini, nasıl depolandığını ve işlendiğini tanımlarlar. Veri yapılarını anlamak, verimli ve etkili algoritmalar geliştirmek için oldukça önemlidir. Hemen hemen her programda veya yazılım sisteminde temel ve gelişmiş veri yapısı türleri kullanılmaktadır. Etkili veri yapılarının tasarımı ve kullanımı, algoritmaların performansını optimize etmek ve büyük çapta verinin işlenmesini sağlamak için vazgeçilmezdir. Özellikle son dönemin popüler konuları olan derin öğrenme, gerçek zamanlı veri işleme ve büyük veri seti analizi gibi çalışmalar da etkili veri yapılarının kullanımı ile mümkün olabilmektedir. Bu bağlamdan yola çıkarak bu çalışmada, 2021-2023 yıllarına ait SCI-SCIE indekslerinde taranan makaleler incelenmiş olup veri yapıları alanında öne çıkan konular, metodlar ve çözüm önerileri ele alınmıştır. İncelenen çalışmalar, modern veri yapıları uygulamalarına önemli katkılar sağlamış ve yeni yaklaşımların geliştirilmesine olanak tanımıştır. Bu dönemde gerçekleştirilen araştırmalar, yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi güncel teknolojilere entegrasyon açısından oldukça önem arz etmektedir. Özellikle temsil öğrenme, matris faktörizasyonu, derin kümeleme ve çok katmanlı otomatik kodlayıcılar gibi konular üzerinde yoğunlaşan bu çalışmalar, veri yapılarının çeşitli disiplinlerdeki uygulama potansiyelini ortaya koymaktadır.

## METODOLOJİ

Veri yapıları, verilerin etkili bir şekilde organize edilmesini, depolanmasını ve işlenmesini sağlayarak algoritmaların çalışma verimliliğini artırırlar. En temel veri yapıları, verileri düzgün bir şekilde saklamak ve organize etmek için kullanılır. Diziler (arrays) ve bağlı listeler (linked lists) veri setlerini tutarlı bir biçimde depolayarak hızlı erişimi sayesinde algoritmaların temelini oluşturan yazılım geliştirmenin ilk adımı olmuştur (Cormen vd. 2009). Ağaçlar (trees) ve grafikler (graphs) gibi veri yapıları ise,

karmaşık bağlantıları organize etmek ve hızlı veri erişimi sağlamak için kullanılırlar (Goodrich, Tamassia, ve Goldwasser 2014).

Diğer yandan uyarlanabilirlik ve esnek olarak bilinen dinamik veri yapıları sayesinde değişen veri setlerine hızlı uyum sağlarlar. Hash tabloları, kuyruklar (queues) ve yığınlar (stacks) gibi modeller sayesinde, sistem performansını optimize ederler. Dinamik veri yapıları, bellek yönetimi ve uygulama performansı açısından önemi sebebiyle özellikle gerçek zamanlı uygulamalarda tercih edilirler. Bu sebeple, geleceğe yönelik yapay zekâ ve makine öğrenimi çalışmalarında da bilimsel anlamda temel rol oynamaktadırlar. Çok boyutlu veri yapıları (multi-dimensional structures) ve matris temelli yaklaşımlar, karmaşık veri setlerini anlamlı hale getirmesi bakımından, sinir ağları ve derin öğrenme modellerinin gelişiminde kullanılmaktadırlar. Ayrıca yapay zekâ ve makine öğrenimi gibi önemli ve güncel çalışmalar içerisinde, veri yapıları etkin bir şekilde kullanılarak büyük veri setlerinden anlamlı sonuçlar da çıkarılmaktadır. Bu da geliştiricilere, otonom sistemlerden tavsiye motorlarına kadar geniş bir uygulama alanı sunmaktadır (Sabharwal ve Selman 2011).

Son dönemlerde yapay zekâ teknolojilerinin hızlı gelişimi, veri yapılarının önemini daha da artırmıştır. Yapay zekâ sistemlerinin çalışması için gerekli olan büyük ve karmaşık veri setlerinin verimli bir şekilde işlenebilmesi, doğrudan doğruya veri yapılarının etkinliğine bağlıdır. Özellikle derin sinir ağlarının büyük miktarda veriyi öğrenebilmesi için verilerin düzenli ve yapısal olarak organize edilmesi gerekir (Heaton 2018). Bu noktada, dinamik veri yapıları ve matris faktörizasyonu gibi yöntemler devreye girer (Cormen vd. 2009).

Diğer taraftan yapay zekâ uygulamaları genellikle çok büyük veri setlerinde gizli desenleri bulmaya odaklandığından bu uygulamalarda gerçek zamanlı ve anında karar vermek oldukça önemlidir. Bu da ancak etkili veri yapılarının kullanımı ile mümkün olabilir. Bu uygulama türlerinde özellikle grafik yapıları, zamana dayalı verileri organize ederek gerçek zamanlı analizleri mümkün kılar. Bu işlem sürecinde, verilerin anlamlı şekilde temsil edilmesini sağlayan temsil öğrenme ve derin kümeleme gibi yöntemler büyük önem taşımaktadır (Cormen vd. 2009).

Zaman içerisinde gelişen teknolojiyle birlikte, veri yapılarının kullanım alanları ve önemi de çok farklı boyutlara ulaşmıştır. Özellikle finansal alanda teknolojik gelişmeler ışığında Blockchain ve veri akışı gibi

yeni veri yapıları, büyük çapta dağıtık sistemleri ve karmaşık ağları desteklemektedirler. Blockchain teknolojisi şeffaf ve güvenli veri paylaşımı sağlarken, akış veri yapıları gerçek zamanlı analizlerde kullanılmaktadır. Bilindiği üzere bu yapılar, sürekli gelişen veri bilimi dünyasını şekillendirmeye devam etmektedir. Diğer taraftan bu yapılar, gelecekteki yeniliklerin altyapısını da oluşturmaktadırlar. (Golab ve Ozsü 2003).

Yapay zekâ, yalnızca veri yapılarını kullanmakla kalmaz, aynı zamanda bu yapıların kendi teknolojisine uyumu için gelişmesini bir nevi zorunlu tutmaktadır. Aşağıda belirtilen veri yapılarının daha verimli ve esnek hale getirilmesi gibi önemli gelişmeler bu etkileşimi açıkça göstermektedir:

1. Optimize Edilmiş Veri Yapıları: Yapay zekâ algoritmaları, veriye erişim sürecinde tespit edilen darboğazlara dayalı olarak veri yapılarını optimize eder. Bu optimizasyon, bellek kullanımını azaltarak işlem sürelerini hızlandırır (Zheng vd. 2020).
2. Otonom Veri Yapıları: Makine öğrenimi yöntemleri, değişen veri setlerine kendiliğinden uyum sağlayabilen dinamik veri yapılarının gelişmesini mümkün kılmaktadır (Ratih, Saputri, ve Lee 2020).
3. Veri Sıkıştırma ve Etkin Depolama: Yapay zekâ, verilerin anlamlı özelliklerini çıkartarak veri sıkıştırma yöntemlerinin iyileştirilmesini sağlar. Bu, büyük veri setlerinin depolanmasında önemli tasarruflar sağlar (Cormen vd. 2009).
4. Yeni Veri Yapısı Tasarımı: Yapay zekâ destekli analizler, karmaşık problemleri çözmek için ihtiyaç duyulan yeni veri yapılarının tasarlanmasına ilham verir (Cormen vd. 2009).

Bu gelişmeler ışığında, yapay zekâ ve veri yapıları arasındaki simbiyotik ilişki oldukça net görülmekte ve gelecekte bu alanlardaki ilerlemelerin birbirini nasıl besleyeceğini ortaya koymaktadır.

Bu bilgiler ışığında bu çalışmada, bilgisayar biliminin temelini oluşturan ve tüm programlama derslerinde temel olarak verilen veri yapıları ile ilgili günümüz güncel ve gelişmiş teknolojiler adına neler yapıldığı araştırılmış, özellikle dünyanın sayılı makale indexleri olan SCI-SCIE indexlerinde tarama yapılarak elde edilen 2021-2023 yılları arasında toplam 60 adet makale incelenmiş ve özetlenmiştir.

Çalışma kapsamında toplam 60 adet 2021-2023 yılları arasında SCI-SCIE indexli makaleler incelenmiş olup veri yapıları alanında öne çıkan ana konular ve özellikleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

1. Temsil Öğrenme (Representation Learning): Verilerin daha anlamlı bir şekilde temsil edilmesini sağlayarak makine öğrenimi modellerinin performansını artırmaya yöneliktir. Bu yöntem, çok katmanlı otomatik kodlayıcıları (autoencoders) ve derin sinir ağlarını içerir (Zhu vd. 2021).
2. Matris Faktörizasyonu (Matrix Factorization): Veri setlerindeki gizli desenleri ortaya çıkarmak ve özellikle öneri sistemlerinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır (Nguyen vd. 2021).
3. Derin Kümeleme (Deep Clustering): Büyük veri setlerini anlamlı alt gruplara ayırmak için derin öğrenme tabanlı yaklaşımları kullanır. Bu, veri madenciliği ve pazar segmentasyonu gibi alanlarda yaygın uygulamalara sahiptir (Xie vd. 2016).
4. Dinamik Veri Yapıları (Dynamic Data Structures): Değişen veri setlerine hızlı adapte olabilen yapılardır. Örneğin, sosyal ağ analizlerinde ve şebeke yönetiminde kullanılır (Nguyen vd. 2021).
5. Zaman Serisi Analizi (Temporal Data Structures): Zaman damgalı verilerin organize edilmesini ve analiz edilmesini sağlar. Bu, finans ve işletme analitiği alanlarında kritik bir rol oynar (Tanner, Makan, ve Kevin 2022).

Yukarıda özetlenen çalışmalar yıl, başlık, yazarları, temel konu alanı şeklinde geniş tablolar şeklinde verilmiştir. Ayrıca tablo içeriklerini açıklamak ve makale çalışmalarının içeriğinin incelenmesi de tabloların ardından özetler halinde sunulmuştur.

Tablo 1-2-3'te 2021 yılında yayınlanan 21 adet makale, Tablo 4 ve 5'te 2022 yılına ait 16 adet makale, son olarak Tablo 6 - 7 ve 8'de de 2023 yılına ait 23 adet makale özeti verilmiş olup toplamda 60 adet makale incelemesi gerçekleştirilmiştir. Tablo içerisinde orijinal makale isimleri ve makalenin içeriğine ait temel konu bilgisi yer almaktadır. Ayrıca konu bazlı incelenen makaleler için tabloların ardından özet açıklamalara yer verilmiştir.

**Tablo 1:** 2021 Yılı Çalışmaları

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
1	(Zhu vd. 2021)	Representation learning with collaborative autoencoder for personalized recommendation	Temsil öğrenme (representation learning) yaklaşımı
2	(Nguyen vd. 2021)	Attentional matrix factorization with context and co-invocation for service recommendation	Attentional Matrix Factorization (AMF) yöntemini, contextual information (bağlamsal bilgiler) ve co-invocation information (birlikte çağırılma bilgileri) ile birleştirerek, daha doğru hizmet önerileri yapmak
3	(Cai, Wang, ve Guo 2021)	Unsupervised embedded feature learning for deep clustering with stacked sparse auto-encoder	Stacked Sparse Auto-Encoder (SSAE)
4	(Lagares, Yunierkis, ve Minovski 2022)	Structure-Function Relationships in the Human P-Glycoprotein (ABCB1): Insights from Molecular Dynamics Simulations	İnsan P-glikoproteini (ABCB1) üzerindeki yapı-fonksiyon ilişkileri
5	(He ve Liu 2021)	Verifying computation tree logic of knowledge via knowledge-oriented petri nets and ordered binary decision diagrams	Computation Tree Logic (CTL)'i, Knowledge-Oriented Petri Nets (KOPNs) ve Ordered Binary Decision Diagrams (OBDDs)
6	(Wadhwa 2021)	Brain network topology unraveling epilepsy and ASD Association: Automated EEG-based diagnostic model	EEG (elektroensefalogram) verilerini kullanarak otomatik bir teşhis modeli
7	(Manjunathan vd. 2021)	Wireless HART stack using multiprocessor technique with laxity algorithm	Multiprocessor teknikleri ve laxity algoritması
8	(Abdelfattah vd. 2021)	GPU algorithms for Efficient Exascale Discretizations	GPU (Graphics Processing Unit) tabanlı algoritmalar
9	(Delos vd. 2021)	Polyhedral-based Modeling and Algorithms for Tolerancing Analysis	Polyhedral modelleme tekniklerinin kullanımı
10	(Humphries ve Mazières 2021)	Syrup: User-Defined Scheduling Across the Stack	Özelleştirilmiş zamanlama (scheduling) stratejilerinin kullanılmasını sağlayan bir çerçeve olan Syrup'u tanıtılması
11	(Fatourou ve Kallimanis 2021)	Brief Announcement: Persistent Software Combining	Yazılım kombinasyonu (software combining) tekniklerini kalıcı (persistent) veri yapılarıyla birleştiren yeni bir yaklaşım
12	(Chen vd., 2021)	HerQules: Securing Programs via Hardware-Enforced Message Queues	Yazılım güvenliğini artırmak için donanım tabanlı mesaj kuyrukları kullanarak yeni bir güvenlik çözümü



(Zhu vd. 2021) çalışmalarında temel katkılar olarak şunları ifade etmektedirler. Geleneksel öneri sistemlerinde kullanılan kullanıcı-ürün matrisinin yerini alacak şekilde, autoencoder (bir tür yapay sinir ağı) kullanarak düşük boyutlu bir temsili öğrenme yaklaşımı sunmuşlardır. Kişiselleştirilmiş temsil öğrenme, kullanıcıların geçmiş etkileşimleri üzerinden, her kullanıcı için kişiselleştirilmiş bir özellik vektörü çıkarır. Bu da öneri sisteminin daha hassas ve doğru tahminler yapmasına olanak tanır. Üzerinde durdukları çift yönlü öğrenme yaklaşımında ise hem kullanıcı temsilleri hem de ürün temsilleri simultane olarak öğrenir. Böylece, modelin kullanıcıların gizli tercihlerine dair daha derin bilgiler edinilmesi sağlanır. Sonuç olarak, önerilen modelde, kişiselleştirilmiş önerilerde daha iyi doğruluk ve genelleme sağlamak amacıyla, kullanıcı ve ürün etkileşimlerinin derinlemesine öğrenilmesi vurgulanmıştır.

(Nguyen vd. 2021) çalışmalarında, hizmet öneri sistemlerinde daha etkili ve kişiselleştirilmiş sonuçlar elde etmek için yeni bir model önermişlerdir. Bu model, Attentional Matrix Factorization (AMF) yöntemini, contextual information (bağlamsal bilgiler) ve co-invocation information (birlikte çağrılma bilgileri) ile birleştirerek, daha doğru hizmet önerileri yapmayı amaçlar. (Cai vd. 2021) çalışmalarında derin kümeleme (deep clustering) problemini çözmek için Stacked Sparse Auto-Encoder (SSAE) kullanarak yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, denetimsiz (unsupervised) öğrenme yaklaşımlarına dayanarak, verilerin daha iyi bir şekilde kümeleme yapılabilmesi için özellik öğrenme süreçlerini optimize eder. (Lagares vd. 2022) çalışmalarında insan P-glikoproteini (ABCB1) üzerindeki yapı-fonksiyon ilişkilerini anlamak için moleküler dinamik simülasyonlarını kullanır. P-glikoproteini, hücre zarında bulunan bir taşıyıcı protein olup, birçok ilacın hücre içine alımını ve dışarı atılmasını düzenler. Bu makale, P-glikoprotein yapısını ve fonksiyonunu derinlemesine incelemek için simülasyon tekniklerinin nasıl kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunar. (He ve Liu 2021) Bilgi temelli sistemlerin doğruluğunu ve güvenilirliğini analiz etmek için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem, Computation Tree Logic (CTL)'i, Knowledge-Oriented Petri Nets (KOPNs) ve Ordered Binary Decision Diagrams (OBDDs) ile doğrulamayı amaçlar. Bu sayede, karmaşık bilgi tabanlı sistemlerin davranışları ve doğruluğunun daha verimli olacağını öne sürmektedirler. (Wadhera 2021) epilepsi ve otizm spektrum bozukluğu (ASD) arasındaki ilişkiyi incelemek ve bu hastalıkların tanısını koymak için EEG (elektroensefalogram) verilerini kullanarak otomatik bir

teşhis modeli geliştirmeyi amaçlar. Çalışmada, beyin ağları topolojisinin bu iki hastalıkla nasıl ilişkilendiğini anlamak için yeni bir yaklaşım sunulmuştur. (Manjunathan vd. 2021) endüstriyel otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılan Wireless HART (Highway Addressable Remote Transducer) protokolünü geliştirmek için multiprocessor teknikleri ve laxity algoritması kullanmayı amaçlayan bir yaklaşım önermişlerdir. Çalışmalarında, kablosuz sensör ağlarında veri iletimi ve işleme verimliliğini artırmaya yönelik bir çözüm sunmaktadırlar.

(Abdelfattah vd. 2021) GPU (Graphics Processing Unit) tabanlı algoritmalar kullanarak *exascale* (yani, saniyede bir eksabayt işlem yapabilmeye kapasitesine sahip) hesaplamalar için daha verimli diskretizasyon yöntemleri geliştirmeyi amaçlamışlardır. *Exascale* hesaplama, yüksek performanslı hesaplama (HPC) alanındaki en ileri seviyeye işaret eder ve büyük ölçekli simülasyonları mümkün kılar. Çalışmada, bu tür büyük ölçekli hesaplamalar için GPU'ların kullanılmasını ve bu alandaki algoritmaların optimizasyonlarını tartışılır. (Delos vd. 2021) tolerans analizi (yani, üretim süreçlerinde parçaların geometrik hatalarının incelenmesi) için yeni bir modelleme ve algoritma yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışma, bu tür analizleri gerçekleştirmek için polyhedral modelleme tekniklerini kullanmayı hedefler. Polyhedral modeller, üç boyutlu geometrik nesnelere çokgen (polyhedron) şeklinde temsil eder ve bu temsil, toleransların incelenmesinde etkili bir yöntem olarak kullanılırlar. (Humphries ve Mazières 2021) yazılım geliştirme ve işletim sistemleri alanında, uygulamalar için özelleştirilmiş zamanlama (scheduling) stratejilerinin kullanılmasını sağlayan bir çerçeve olan Syrup'u tanıtır. Bu çalışma, kullanıcıların, uygulama yazılımından işletim sistemine kadar farklı katmanlar arasında zamanlama politikalarını tanımlanmasına olanak tanır, böylece daha verimli ve esnek sistemler oluşturulabilir fikrini öne sürmüşlerdir. (Fatourou ve Kallimanis 2021) yazılım kombinasyonu (software combining) tekniklerini kalıcı (persistent) veri yapılarıyla birleştiren yeni bir yaklaşımı tanıtmışlardır. Yazılım kombinasyonu, özellikle paralel ve dağıtık sistemlerde, çoklu işlemcilerin verileri verimli bir şekilde işleyebilmesi için kullanılan bir tekniktir. Kalıcı yazılım kombinasyonu, veri yapılarını yeniden oluşturmadan, önceki durumu koruyarak işlem yapabilen bir yöntem sunar. (Chen vd., 2021) yazılım güvenliğini artırmak için donanım tabanlı mesaj kuyrukları kullanarak yeni bir güvenlik çözümü önermişlerdir. HerQules, programların güvenliğini sağlamak amacıyla, donanım seviyesinde mesaj kuyrukları oluşturan ve bu kuyruklar aracılığıyla iletişim ve veri akışını

kontrol eden bir mekanizma sunar. Bu, kötü niyetli yazılımlar veya saldırılara karşı programların daha güvenli hale gelmesini sağlar.

**Tablo 2:** 2021 Yılı Çalışmaları Devam

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
13	(Pourabbasi vd. 2021)	A new single-chromosome evolutionary algorithm for community detection in complex networks by combining content and structural information	Tek kromozomlu evrimsel algoritma
14	(Jaouadi ve Romdhane 2021)	A distributed model for sampling large scale social networks	Dağıtık hesaplama teknikleri
15	(Burley ve Berman 2021)	Open-access data: A cornerstone for artificial intelligence approaches to protein structure prediction	Protein yapı tahmini alanında açık erişimli verilerin yapay zeka (YZ) yöntemlerinin geliştirilmesindeki kritik rolü
16	(Deng vd. 2021)	Effective semi-supervised learning for structured data using Embedding GANs	Yapısal veriler (structured data) üzerinde yarı denetimli öğrenme (semi-supervised learning)
17	(Holub, Hardy, ve Kallmes 2021)	Toward Automated Data Extraction: A Cross-Sectional Pilot Study of the Structure of Tabular Data in Clinical Comparative Literature	Klinik karşılaştırmalı literatürde yer alan tabular verilerin (tablo şeklinde sunulan veriler) otomatik veri çıkarımı için bir yaklaşım geliştirme ve otomatik veri çıkarımı
18	(Zhang vd. 2021)	New uncertainty measurement for categorical data based on fuzzy information structures: An application in attribute reduction	Bulanık bilgi yapıları ve özellik azaltma
19	(Zhao ve Dong 2021)	Design loads and reliability assessment of marine structures considering statistical models of metocean data	Deniz yapılarının tasarım yüklerini ve güvenilirlik değerlendirmelerini yaparken metocean (meteorolojik ve okyanus) verilerinin istatistiksel modelleri kullanımı
20	(Acodad vd., 2021)	Lazy Repairing Backtracking for Dynamic Constraint Satisfaction Problems	Dinamik kısıtlama tatmin problemleri (Dynamic Constraint Satisfaction Problems, DCSP) için tembel onarım geri izleme (lazy repairing backtracking) adlı bir algoritma

(Pourabbasi vd. 2021) karmaşık ağlarda topluluk tespiti (community detection) için yeni bir tek kromozomlu evrimsel algoritma önermişlerdir. Bu algoritma, topluluk tespitinde hem içerik bilgisi hem de yapısal bilgiyi birleştirerek daha etkili bir çözüm sunmayı amaçlamaktadır. (Jaouadi ve Romdhane 2021) büyük ölçekli sosyal ağların verilerini analiz etmek için

dağıtık bir model önerirler. Sosyal ağların büyüklüğü ve karmaşıklığı, bu ağlardan verimli bir şekilde örnekleme yapmayı zorlaştırır. Makale, bu tür ağlardan verimli bir şekilde örnekleme yapabilmek amacıyla dağıtık hesaplama tekniklerini kullanmaktadır.

(Burley ve Berman 2021) protein yapı tahmini alanında açık erişimli verilerin yapay zekâ (YZ) yöntemlerinin geliştirilmesindeki kritik rolünü vurgulamaktadır. Proteinlerin üç boyutlu yapılarının doğru bir şekilde tahmin edilmesi, biyoteknoloji ve ilaç geliştirme gibi alanlar için büyük önem taşır. Makale, bu tahminlerin geliştirilmesinde açık erişimli veri setlerinin kullanımını teşvik eder. (Deng vd. 2021) yapısal veriler (structured data) üzerinde yarı denetimli öğrenme (semi-supervised learning) yöntemlerinin etkinliğini artırmak için Embedding GAN'ler (Generative Adversarial Networks) kullanmayı önerir. Bu yaklaşım, sınırlı etiketli verilerle birlikte çok daha büyük miktarda etiketlenmemiş veriyi kullanarak modelin performansını artırmayı hedefler. (Holub vd. 2021) klinik karşılaştırmalı literatürde yer alan verilerin (tablo şeklinde sunulan veriler) otomatik veri çıkarımı için bir yaklaşım geliştirmeyi amaçlayan bir pilot çalışmayı sunmuşlardır. Makale, klinik araştırmalarda kullanılan verilerin yapısını inceleyerek, bu verilerden otomatik veri çıkarımı işlemlerini daha etkili hale getirecek yöntemler geliştirmeye odaklanır.

(Zhang vd. 2021) kategorik veriler için yeni bir belirsizlik ölçümü önerir. Bu ölçüm, bulanık bilgi yapıları kullanılarak verilerin belirsizliğini değerlendirmeye yönelik geliştirilmiştir. Ayrıca, makale bu yeni ölçümün, özellikle özellik azaltma (attribute reduction) süreçlerinde nasıl uygulanabileceğini tartışır. (Zhao ve Dong 2021) deniz yapılarının tasarım yüklerini ve güvenilirlik değerlendirmelerini yaparken *metocean* (meteorolojik ve okyanus) verilerinin istatistiksel modellerini dikkate almayı amaçlar. Deniz yapılarının güvenliği ve dayanıklılığı, *metocean* verilerinin doğruluğuna ve bu verilerle yapılan analizlere dayanır. (Acodad vd., 2021) çalışmalarında dinamik kısıtlama tatmin problemleri (Dynamic Constraint Satisfaction Problems, DCSP) için tembel onarım geri izleme (lazy repairing backtracking) adlı bir algoritma önerir. Dinamik kısıtlama tatmin problemleri, kısıtlamaların zamanla değişebileceği ve problemin çözümünün sürekli olarak

güncellenmesi gereken senaryoları ifade eder. Bu tür problemler, birçok gerçek dünya uygulamasında karşılaşılan zorluklar arasında yer alır.

**Tablo 3:** 2022 Yılı Çalışmaları

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
21	(Arkin, G., & Helil 2021)	Ciphertext-Policy Attribute Based Encryption with Selectively-Hidden Access Policy	Özellik tabanlı şifreleme (Attribute-Based Encryption, ABE) sistemlerinde, seçici olarak gizlenmiş erişim politikaları ile ciphertext-policy (metin şifreleme politikası) uygulamaları
22	(Al vd. 2022)	A performance study of optane persistent memory: from storage data structures' perspective	Kıyaslama, veri yapıları, kalıcı hafıza
23	(Tanner vd. 2022)	A hybrid adjacency and time-based data structure for analysis of temporal networks	Komşuluk sözlüğü, dinamik grafik yapısı, dinamik ağ, hibrit veri yapısı, aralık ağacı, tahmine dayalı bileşik kesit, ilişkisel olaylar, zaman damgalı ağ.
24	(Brito vd. 2022)	A dynamic data structure for temporal reachability with unsorted contact insertions	Dinamik veri yapıları; Ulaşılabilirlik, Geçici grafik; Geçiş kapanışı
25	(Semih ve Mehmet 2021)	An efficient edge based data structure for the compressible Reynolds-averaged Navier–Stokes equations on hybrid unstructured meshes	Sıkıştırılabilir akış, Hesaplamalı aerodinamik, Veri yapıları, Sonlu hacim,
26	(Jang, Byun, ve Lim 2022)	Dynamically Allocated Bloom Filter-Based PIT Architectures	Bloom filtresi; dinamik veri yapısı, adlandırılmış veri ağı; bekleyen İlgili tablosu
27	(Nov, Lorraine, ve Nancy 2021)	New data structure for univariate polynomial approximation and applications to root isolation, numerical multipoint evaluation, and other problems	Karmaşık kök bulma; Koşul numarası, Polinom değerlendirme; Veri yapıları
28	(Patrik ve Slavomir 2022)	Interactive System for Algorithm and Data Structure Visualization	Algoritmalar; veri yapıları, JavaScript; JSAV, görselleştirme; web uygulaması

(Arkin, G., & Helil 2021) özellik tabanlı şifreleme (Attribute-Based Encryption, ABE) sistemlerinde, seçici olarak gizlenmiş erişim politikaları ile ciphertext-policy (metin şifreleme politikası) uygulamalarını ele alır. ABE, verilerin yalnızca belirli özelliklere sahip kullanıcılar tarafından şifresinin çözülebilmesini sağlayan bir şifreleme yöntemidir. Bu makale, ABE

sistemlerinde özelliklerin gizliliğini koruyarak erişim kontrolünü daha etkili hale getirmek için yeni bir yaklaşım sunar.

(Al vd. 2022) Intel Optane DC Kalıcı Bellek'in (PMEM) performansını yaygın veri yapıları (ör. Linkedlist, Hashtable, Skiplist, Ağaçlar) ve grafik yapıları (Sıkıştırılmış Seyrek Satır, Blokluk Komşuluk Listesi) üzerinde incelenmişlerdir. (Tanner vd. 2022) çalışmalarında zamana bağlı ağların analizini verimli bir şekilde gerçekleştirmek için hibrit bir veri yapısı sunmayı amaçlamışlardır. Bu yapı, hızlı düğüm tabanlı kesitler için bir komşuluk sözlüğü ve hızlı zaman tabanlı kesitler için bir aralık ağacı birleştirir. (Brito vd. 2022) makalelerinde, zaman içinde etkileşimleri temsil eden "geçici grafikler" üzerindeki bağlantı (reachability) problemini ele almışlardır. Çalışma, özellikle bağlantı bilgilerine yeni temaslar eklenirken dinamik olarak güncelleyebilen ve temasların sıralı (kronolojik) olmadığı durumları destekleyen bir veri yapısı sunmaktadır. (Semih ve Mehmet 2021) Makalelerinde, hibrit yapısız ağlar üzerinde sıkıştırılabilir Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS) denklemlerini çözmek için tasarlanmış yenilikçi bir kenar tabanlı veri yapısını tanıtmışlardır. Bu yapı, düğüm tabanlı sonlu hacim yöntemleri için optimize edilmiştir ve önbellek verimliliğini ve hesaplama sürelerini önemli ölçüde artırmaktadır. (Jang vd. 2022) Makalelerinde, Adlandırılmış Veri Ağı (NDN) için üç dinamik, FBF-PIT, rCBF-PIT ve R-rCBF-PIT bloom filtre tabanlı bekleyen ilgi tablosu (PIT) mimarisini tanıtmışlardır. (Nov vd. 2021) Çalışmalarında, kök izolasyonu, sayısal çoklu nokta değerlendirme ve polinom koşul numaralarının analizini içeren klasik polinom problemlerini çözmeye önemli ilerlemeler sunan yeni bir veri yapısı tanıtmışlardır. (Patrik ve Slavomir 2022), algoritmalar ve veri yapılarının görselleştirilmesi için yeni bir web tabanlı sistemin tasarımını, uygulanmasını ve değerlendirilmesini açıklamaktadırlar. Sistem, öğrencilere sezgisel ve etkileşimli görselleştirmeler sunarak veri yapıları ve algoritmaları öğrenme sürecini geliştirmeyi amaçlamaktadır.

**Tablo 4:** 2022 Yılı Çalışmaları Devamı

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
29	(Plourde 2022)	Synthia: a Generic and Flexible Data Structure Generator	Fuzzing; sentetik veri üretimi, test küçültme; veri yapısı
30	(Salam vd. 2022)	Future-Based Persistent Spatial Data Structure for NVM-Based Manycore Machines	Gelecekler (Futures); indeks veri yapıları, çok çekirdekli makineler; kalıcı bellek
31	(Youssef vd. 2022)	Optimizing Performance and Storage of Memory-Mapped Persistent Data Structures	Bellek-haritalı I/O; kalıcı veri yapıları, depolama optimizasyonu; artımlı anlık görüntüler, blok sıkıştırma
32	(Christen 2022)	Programming Data Structures for Large-Scale Desktop Simulations of Complex Systems	Allagmatic yöntemi; karmaşık sistemler, veri yapıları; büyük ölçekli modelleme, simülasyon
33	(Peretz ve Fischler 2022)	A fast parallel max-flow algorithm	Yönlendirilmiş ağlarda maksimum akış problemini çözmek için yeni bir hızlı paralel algoritma geliştirme
34	(Yarovyi ve Kudriavtsev 2022)	Dictionary Data Structure for a Text Analysis Task Using Cross-References	Metin işleme; akıllı veri analizi, sözlük veri yapısı; çapraz referanslar
35	(Sakai 2022)	A Data Structure for Substring-Substring LCS Length Queries	Algoritmalar; en uzun ortak alt dizi, yarı-yerel dizi karşılaştırması
36	(Rukundo 2022)	Performance Analysis and Modelling of Concurrent Multi-access Data Structures	Eşzamanlılık; veri yapıları, yerellik; çoklu erişim, anlamsal gevşeme; performans modelleme, paralel programlama; kilitsiz, paralellik; önbellek, çok çekirdek; kuyruk teorisi
37	(Yanagita 2022)	Space-Efficient Data Structure for Posets with Applications	Özlü veri yapıları; poşetler, blok zinciri
38	(Hacimahmud 2023)	Vector Logic Analysis of Big Data	Makale, anahtar kelime ve veri analizi kullanarak desen ve nesne tanılama, iş süreç modelleme ve büyük veri işleme için yeni yöntemler önermektedir.

(Plourde 2022), sentetik veri yapıları oluşturmak için modüler, çok yönlü ve genişletilebilir Java tabanlı bir kütüphane olan Synthia'yı tanıtmaktadır. Sistem, belirli kurallar veya desenlere dayalı olarak veri değerleri veya yapıları dinamik olarak üreten "picker" (seçici) nesnelere üzerine kuruludur. (Salam vd. 2022), NVM (kalıcı bellek) tabanlı çok çekirdekli makineler için tasarlanmış yenilikçi bir kalıcı mekânsal veri yapısı olan MPR-tree'yi sunmuşlardır. Bu yapı, modern çoklu CPU düğüm sistemlerinde önemli zorluklar olan eşzamanlılık sınırlamaları, kilit sıkışmaları ve NUMA etkisini ele alarak, FBR-tree'nin en son halini geliştirmektedir. (Youssef vd. 2022), sürümlü kalıcı veri yapılarının performansını ve depolamasını optimize eden bir sanal bellek ve depolama arayüzü olan Privateer 2.0'ı tanıtmışlardır. Bu arayüz ile kullanıcı alanında sayfalama, blok sıkıştırma ve yinelenen veri temizleme gibi özelliklerle ölçeklenebilirlik ve verimlilik artırılmıştır. Değerlendirmeler, Metall ve LMDB gibi araçlarla entegre edildiğinde depolama alanında (300×'e kadar azalma) ve performansta (7.5×'e kadar hızlanma) önemli iyileştirmeler göstermektedir. (Christen 2022), karmaşık sistemlerin simülasyonunda büyük ölçekli veri yapıları için verimli programlama yöntemlerini ele almıştır. C# dilinde nesne yönelimli ve işaretçi tabanlı uygulamaları karşılaştırarak çalışma zamanı ve bellek kullanımı açısından performanslarını değerlendirmektedir. Sonuçlar, dinamik tip kullanımından kaçınmanın ve işaretçi dizileri kullanmanın masaüstü bilgisayarlarda büyük ölçekli simülasyonlarda verimliliği önemli ölçüde artırdığını göstermektedir.

(Peretz ve Fischler 2022), yönlendirilmiş ağlarda tek kaynak ve tek hedef için maksimum akış problemini çözmek üzere yeni bir paralel algoritma önermişlerdir. Algoritma, ağaç alt ağları ve bu alt ağlarda maksimum akışı hesaplayan verimli paralel algoritmalar üzerine kuruludur. Paralel uygulama, bilinen en iyi paralel algoritmadan daha yüksek zaman verimliliği sunarken, sıralı uygulama ise karmaşık veri yapıları kullanmadan en iyi sıralı zaman karmaşıklığını sağlar. (Yarovyi ve Kudriavtsev 2022) çalışmalarında, metin analizinde tematik sınıflandırma için çapraz referanslara sahip sözlük tabanlı bir veri yapısını sunmaktadırlar. Hiyerarşik ve iç içe geçmiş terimlerin kullanımıyla, anlamsal çekirdek oluşturma ve bağlamsal analiz geliştirilmiştir. Sistem, sohbet robotu geliştirilmesinde uygulanmış ve konu tanımlama ve



sınıflandırmada doğruluk ve uyarlanabilirlik sağlamıştır. (Sakai 2022), çalışmasında en uzun ortak alt dizi (LCS) uzunluğu, iki dizi arasındaki benzerliği ölçmek için temel bir metrik olarak kullanmıştır. İki dizinin benzerlik metriği altında ortak yerel yapıları bulabilmek için, herhangi bir alt diziler çiftinin LCS uzunluğunu hızlı bir şekilde hesaplamak gereklidir. Bu tür sorguları desteklemek için, iki diziyi önceden işlemek amacıyla karesel zaman karmaşıklığına sahip bir yöntem önerilmiştir. Bu işlem, tüm dizilerin LCS uzunluğunu sıfırdan hesaplama süresiyle benzerdir. Makalede, herhangi bir alt dizi çiftinin LCS uzunluğunu sorgulamak için karesel zaman karmaşıklığında oluşturulabilen ve alt doğrusal zamanda sorgu yapabilen bir veri yapısı önerilmiştir. Sorgu süresi,  $O(\sqrt{l} \log^{1+\epsilon} l)$  olarak hesaplanmıştır; burada  $l$ , alt dizilerin uzunluklarının toplamı,  $\epsilon$  ise pozitif bir sabittir ve çok küçük bir değer olabilir. (Rukundo 2022), çok çekirdekli paylaşımlı bellek ortamlarında eşzamanlı çoklu erişim veri yapılarının performansını incelemiştir. Çalışmasında erişim desenleri, senkronizasyon primitifleri ve bellek gecikmesi gibi faktörleri dikkate alan yeni bir analitik model geliştirmiştir. Model, çok çekirdekli CPU'lar üzerindeki karşılaştırmalı testlerle doğrulanmış ve %80 ile %100 arasında tahmin doğruluğu sağlamıştır. (Yanagita 2022) çalışmasında, kısmi sıralı kümeleri (poset) temsil etmek için yeni alan verimli veri yapılarını tanıtmaktadır. Topolojik etiketleme ve geçiş azaltma tekniklerini kullanarak bellek kullanımını optimize eder. Çalışma, özellikle yönlendirilmiş döngüsüz grafiklerden (DAG'ler) yararlanarak ölçeklenebilirliği artıran BlockDAG'ler üzerinde durarak, geleneksel blok zincirlerinin ötesinde ölçeklenebilir modellerdeki uygulamaları incelemektedir. (Hacimahmud 2023) Makalesinde, anahtar kelimeler ve veri kullanarak desen ve nesnelere tanımlanması üzerine odaklanmaktadır. Gerçek tablo tabanlı nesne tanımlama, anahtar kelimelerin eşdeğerlik sınıflarının belirlenmesi, mantıksal vektör tabanlı iş süreç modeli oluşturulması ve bu modelin operatörlerin eylemlerini doğrulamak için kullanılması gibi konular ele alınmıştır. Ayrıca, büyük veri işlemede enerji ve zaman maliyetlerini düşürmek için Von Neumann mimarisinin belleğe aktarılması ve güçlü işlemcinin mantıksal vektör işlemleri ile değiştirilmesi önerilmiştir.

**Tablo 5:** 2023 Yılı Çalışmaları

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
39	(Liang, Huang, ve Zhang 2023)	Exploring the Fusion Potentials of Data Visualization and Data Analytics in the Process of Mining Digitalization	Makale, madencilik sektöründe veri görselleştirme ve analitik yöntemlerinin birleştirilmesi ile ilgili güncel konuları incelemekte ve gelecekteki potansiyel uygulamaları tartışmaktadır.
40	(Data vd. 2023)	Preserving the Privacy of Latent Information for Graph-Structured Data	Makale, fMRI verilerindeki gizli grafik yapıları ve uyarıcıları gizlemek için bir çok amaçlı optimizasyon yöntemi önermektedir.
41	(Xueying vd. 2023)	Anomaly Recognition Method for Massive Data of Power Internet of Things Based on Bayesian Belief Network	Makale, elektrik şebekesi IoT'sindeki büyük veri anormalliklerini tespit etmek için Bayesyen inanç ağı tabanlı bir yöntem önermektedir.
42	(Zhao ve Ye 2023)	An Optimization Method for Satellite Data Structure Design Based on Improved Ant Colony Algorithm	Makale, uydu telemetri veri yapısını optimize etmek için rasterize modelleme ve geliştirilmiş bir karınca kolonisi algoritması kullanarak yeni bir yöntem önermektedir.
43	(Mahmoudian 2023)	An Overview of Big Data Concepts, Methods, and Analytics: Challenges, Issues, and Opportunities	Makale, büyük veri kavramını, özelliklerini, uygulamalarını, zorluklarını ve ilgili teknolojilerini kapsamlı bir şekilde incelemektedir.
44	(Jia vd. 2023)	Global and local structure preserving nonnegative subspace clustering	Alt uzay kümeleme, küresel ve yerel yapı, çekirdek kümeleme
45	(Moradi vd. 2023)	GitHub Copilot AI pair programmer: Asset or Liability?	Yapay zekâ eş programlama, kod tamamlama, değerlendirme
46	(Keramatian vd. 2023)	PARMA-CC: A family of parallel multiphase approximate cluster combining algorithms	Paralel kümeleme, yaklaşık hesaplama, veri yapıları
47	(Ros, Riad, ve Guillaume 2023)	PDBI: A partitioning Davies-Bouldin index for clustering evaluation	Kümeleme değerlendirmesi, Davies-Bouldin indeksi
48	(Yang vd. 2023)	Precise crop classification of UAV hyperspectral imagery using kernel tensor slice sparse coding based classifier	Ürün sınıflandırması, hiperspektral görüntüleme, UAV

(Liang vd. 2023) madencilik sektöründe veri görselleştirme ve analitik yöntemlerinin birleştirilmesi üzerine odaklanmaktadır. Bu yöntemlerin, IoT, otomasyon ve sensör teknolojileri ile birlikte kullanılması, değerli verilerin etkin bir şekilde işlenmesini ve analiz edilmesini sağlar. Makale, veri görselleştirme, veri yönetimi, veri analizi, veri füzyonu, görsel analitik ve dijital ikiz konularını ele almaktadır. Ayrıca, madencilik sektöründe veri füzyonu uygulamalarının potansiyel kullanım alanları ve karşılaşılabileceği zorluklar da tartışılmaktadır. (Data vd. 2023) fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (fMRI) verilerindeki gibi gizli grafik yapıları ve uyarıcıların bireylerin tanımlanmasında kullanılabileceğini vurgulamaktadır. Bu nedenle, bu bilgileri gizlerken verinin kullanım değerini korumak önemlidir. Makale, grafik Fourier dönüşümü (GFT) temelini ve spektral alan uyarıcılarını gizlemek için yeni birçok amaçlı optimizasyon problemini formüle etmektedir. Bu yöntem, GFT temelini ve spektral alan uyarıcılarını farklı teknikler kullanarak gizler. Deneyler, önerilen yöntemin gizlilik açısından, diferansiyel gizlilik temelli yöntemlere göre daha etkili olduğunu göstermiştir. (Xueying vd. 2023) elektrik şebekesi IoT'indeki büyük veri anormalliklerinin tespiti için yeni bir yöntem önermektedir. Öncelikle, veri dönüşümü ve ayrık dalgacık dönüşümü yöntemleri kullanılarak veri ön işleme yapılır. Ardından, kümeleme algoritması ve yüksek mertebeli istatistikler kullanılarak anormal özellikler çıkarılır. Son olarak, Bayesian inanç ağı kullanılarak büyük veri anormallik tespit modeli oluşturulur ve eğitilerek, anormallik tespit doğruluğu artırılır. (Zhao ve Ye 2023) uydu telemetri veri yapısının optimizasyonu için raster tabanlı modelleme ve geliştirilmiş bir karınca kolonisi algoritması kullanarak yeni bir yöntem önermektedir. Bu yöntem, geleneksel yöntemlerin aksine, uydu kaynaklarının daha verimli kullanılmasını, telemetri iletim verimliliğinin artırılmasını ve yer istasyonundaki çözümleme sürecinin kolaylaştırılmasını sağlar. Uydu telemetri verileri üzerinde yapılan deneyler, yöntemin etkinliğini ve uygulanabilirliğini göstermiştir. (Mahmoudian 2023) büyük veri kavramını, özelliklerini ve uygulamalarını ele almaktadır. Ayrıca, büyük veri ile ilişkili teknolojiler olan bulut bilişim, IoT ve veri merkezlerinin önemini vurgulamaktadır. Büyük veri, farklı kaynaklardan gelen çok büyük miktarda, çeşitli ve karmaşık veriyi ifade eder. Makale, büyük verinin farklı alanlardaki uygulamalarını ve karşılaştığı zorlukları tartışırken, aynı zamanda büyük veri analizi, veri depolama ve görselleştirme gibi teknolojileri de incelemektedir. (Jia vd. 2023) küresel ve yerel yapıları koruyan alt uzay kümeleme yöntemi önermektedirler. Çalışmalarında doğrusal olmayan veriler için çekirdek alana

genişletme işlevi anlatılmaktadır. (Moradi vd. 2023) çalışmalarında, GitHub Copilot'un programlama görevlerindeki potansiyelini ve insan geliştiricilerle karşılaştırıldığındaki sınırlamalarını değerlendirmişlerdir. (Keramatian vd. 2023) büyük ölçekli veriler için verimlilik ve yaklaşık hesaplamaya odaklanan paralel algoritmalar sunmuşlardır. (Ros vd. 2023) karmaşık ve gürültülü veriler için uygun yeni bir kümeleme değerlendirme indeksi geliştirmişlerdir. (Yang vd. 2023) hiperspektral görüntüleme ile ürün sınıflandırması için çekirdek tensör seyrek kodlama tabanlı bir yöntem önermişlerdir.

**Tablo 6:** 2023 Yılı Çalışmaları Devam

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
49	(Serna-serna vd. 2023)	Semi-supervised t-SNE with multi-scale neighborhood preservation	Boyut indirgeme, yarı denetimli öğrenme, t-SNE
50	(W. Long vd. 2023)	Efficient m-closest entity matching over heterogeneous information networks	Varlık eşleştirme, heterojen ağlar, uzamsal arama
51	(Yang vd. 2025)	A distributed streaming framework for edge-cloud triangle counting in graph streams	Graf akışı, üçgen sayma, kenar-bulut hesaplama
52	(Kim vd. 2023)	Efficient approach for mining high-utility patterns on incremental databases with dynamic profits	Veri madenciliği, yüksek faydalı desen çıkarımı, artımlı veri tabanları
53	(Yu ve Kang 2023)	Clustering ensemble-based novelty score for outlier detection	Anormallik algılama, kümeleme topluluğu, yenilik puanı
55	(Lin ve Chen 2023)	Revised Euler K-Means and Beyond	K-Ortalamalar, Euler çekirdeği, düzeltilmiş veri yapıları

(Serna-serna vd. 2023) komşuluk yapılarını koruyarak boyut indirgemedede yarı denetimli öğrenim için t-SNE genişletmesi sunarken, (W. Long vd. 2023) verimli ve doğru varlık eşleşmesi için yenilikçi veri yapıları kullanarak Geo-HIN'leri incelemişler, (Yang vd. 2025) ise ölçeklenebilir ve doğruluğa odaklanan akış grafikleri için kenar-bulut üçgen sayma çerçevesi tanıtmışlardır. (Kim vd. 2023) dinamik kâr ortamlarında verimli yapılarla yüksek faydalı desen çıkarımı için bir yöntem önerirken, (Yu ve Kang 2023) geliştirilmiş sağlamlık ve doğrulukla anormallik algılama için kümeleme topluluğu yaklaşımı sunmuşlardır.

**Tablo 7:** 2023 Yılı Çalışmaları Devam

Sıra	Kaynak	Başlık	Temel Konu Alanı
56	(Liang vd. 2023)	Exploring the Fusion Potentials of Data Visualization and Data Analytics in the Process of Mining Digitalization	Veri analitiği, veri görselleştirme, madencilik dijital ikizleri
57	(Vivek vd. 2023)	Lightweight Reconstruction of Urban Buildings: Data Structures, Algorithms, and Future Directions	Hafif 3D modelleme, veri yapıları, şehir planlaması
58	(Mardiansyah ve Muis 2023)	Multi-State Merkle Patricia Trie (MSMPT): High-Performance Data Structures for Multi-Query Processing Based on Lightweight Blockchain	Blockchain veri yapıları, hafif blockchain, sorgu işlemleri
59	(Appel ve Leroy 2023)	Efficient Extensional Binary Tries	İkili tries, işlevsel veri yapıları, kanonik doğrulama
60	(X. Long vd. 2023)	Deep learning based data prefetching in CPU-GPU unified virtual memory	CPU ve GPU'nun birleşik sanal bellek (Unified Virtual Memory - UVM) ortamında, derin öğrenmeye dayalı veri öngörme yöntemleri

(Lin ve Chen 2023) Euler K-Ortalamalarını geliştiren yeni yöntemler (REK1 ve REK2) ile daha doğru veri yapısı temsilleri sağlandığını öne sürmüşlerdir. (Liang vd. 2023) çalışmalarında madencilik dijitalleşmesinde veri yönetimi, görselleştirme ve dijital ikiz sistemlerine yönelik kapsamlı bir inceleme gerçekleştirmişlerdir. (Vivek vd. 2023) şehir binalarının düşük hafızalı ve hızlı veri yapısı ile rekonstrüksiyonuna yönelik yaklaşımları incelemişlerdir. (Mardiansyah ve Muis 2023) hafif blockchain üzerine çoklu sorgu işlemleri için yüksek performanslı bir veri yapısı olan Multi-State Merkle Patricia Trie (MSMPT)'yi önermişlerdir. Çalışmalarında Merkle Patricia Trie yapısını ve bağlı listeyi birleştirerek verimlilik artırdığı öne sürülmüştür. (Appel ve Leroy 2023) doğrulama ve işlevsellik için ikili tries'in geliştirilmiş bir varyasyonunu sunmuşlardır. Bu yapı, Coq'ta kanonik doğrulama ve verimlilik sağlamaktadır. Son olarak (X. Long vd. 2023) özellikle, GPU'nun bellek erişim performansını artırmak için transformer modeline dayalı bir sayfa öngörme framework'ü sunmuşlardır. Bu yöntemle, bellek erişim düzenlerini daha etkili bir şekilde tahmin ederek CPU-GPU arasında veri transferini optimize etmeyi hedeflemişlerdir.

## SONUÇ

Bu çalışmada, modern veri yapıları kapsamlı bir şekilde ele alınarak teorik temelleri, uygulama alanları ve performans avantajları incelenmiştir. Veri yapıları, bilgisayar bilimindeki temel taşlardan biri olarak kabul edilir ve algoritmaların etkinliği, veri erişim süreleri ve genel sistem performansı üzerinde doğrudan etkilidir. Çalışma, klasik veri yapılarından gelişmiş yapılara ve özel optimizasyon yöntemlerine kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Bu çalışmanın temelinde, özellikle büyük veri ve yapay zekâ gibi modern teknolojilerde veri yapılarının artan rolüne ve veri yapılarını kullanarak sistem optimizasyonlarının nasıl geliştirilebileceğine dair metodolojilere dikkat çekmek istenmektedir. İncelenen makalelerden elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, veri yapılarının birçok alanda kullanıldığı ve etkili sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Özetle bu çalışmanın amacı, veri yapılarının uygulama alanlarını genişletmeyi hedefleyen gelecekteki araştırmalara katkı sağlamak üzere, bu alandaki mevcut çalışmaların kapsamlı bir şekilde derlenmesi ve analiz edilerek sunulmasıdır.

## KAYNAKLAR

- Abdelfattah, Ahmad, Valeria Barra, Natalie Beams, Ryan Bleile, Jed Brown, Jean-sylvain Camier, Robert Carson, Noel Chalmers, Veselin Dobrev, Johann Dudouit, Paul Fischer, Ali Karakus, Stefan Kerkemeier, Tzanio Kolev, Yu-hsiang Lan, Elia Merzari, Misun Min, Malachi Phillips, Thilina Rathnayake, Robert Rieben, Thomas Stitt, Ananias Tomboulides, Stanimire Tomov, Vladimir Tomov, Arturo Vargas, Tim Warburton, ve Kenneth Weiss. 2021. "GPU algorithms for Efficient Exascale Discretizations". 108(November 2020).
- Acodad, Y., Benamrane, A., & Benelallam, I. 2021. "Lazy Repairing Backtracking for Dynamic Constraint Satisfaction Problems". 40(5):1056–79.
- Al, Abdullah, Raqibul Islam, Christopher York, ve Dong Dai. 2022. "A performance study of optane persistent memory : from storage data structures ' perspective". *CCF Transactions on High Performance Computing* 4(4):370–93.
- Appel, Andrew W., ve Xavier Leroy. 2023. "Efficient Extensional Binary Tries". *Journal of Automated Reasoning* 67(1):1–27.
- Arkin, G., & Helil, N. 2021. "Ciphertext-Policy Attribute Based Encryption with Selectively-Hidden Access Policy". 40(5):1136–59.
- Brito, Luiz F. A., Marcelo K. Albertini, Arnaud Casteigts, ve Bruno A. N. Travençolo. 2022. "A dynamic data structure for temporal reachability with unsorted contact insertions". *Social Network Analysis and Mining* 12(1):1–12.
- Burley, Stephen K., ve Helen M. Berman. 2021. "Perspective Open-access data : A cornerstone for artificial intelligence approaches to protein structure prediction". *Structure/Folding and Design* 29(6):515–20.
- Cai, Jinyu, Shiping Wang, ve Wenzhong Guo. 2021. "Unsupervised embedded feature learning for deep clustering with stacked sparse auto-encoder". *Expert Systems With Applications* 186(January 2020):115729.
- Chen, Daming D., Phillip B. Gibbons, James C. Hoe, ve Bryan Parno. y.y. "HerQules : Securing Programs via Hardware-Enforced Message Queues". 773–88.
- Christen, Patrik. 2022. "Programming Data Structures for Large-Scale Desktop Simulations of Complex Systems \*\*".
- Cormen, Thomas H., Charles E. Leiserson, Ronald L. Rivest, ve Clifford

- Stein. 2009. *Introduction to Algorithms*. 4. baskı. London, England: 2022 Massachusetts Institute of Technology.
- Data, Graph-structured, Baoling Shan, Graduate Student Member, Xin Yuan, Wei Ni, ve Senior Member. 2023. “Preserving the Privacy of Latent Information for”. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security* 18:5041–55.
- Delos, Vincent, Denis Teissandier, Alexander Malyshev, Grégory Nuel, ve Sonia C. García. 2021. “Computer-Aided Design Polyhedral-based Modeling and Algorithms for Tolerancing Analysis ☆”. *Computer-Aided Design* 141:103071.
- Deng, Xiaoheng, Ping Jiang, Dezheng Zhao, Rong Huang, ve Hailan Shen. 2021. “Effective semi-supervised learning for structured data using Embedding GANs”. *Pattern Recognition Letters* 151:127–34.
- Fatourou, Panagiota, ve Nikolaos D. Kallimanis. 2021. “Brief Announcement : Persistent Software Combining”. 209(56):56:1-56:0.
- Golab, Lukasz, ve M. Tamer Ozsü. 2003. “Issues in Data Stream Management \*”. 32(2):5–14.
- Goodrich, Michael T., Roberto Tamassia, ve Michael H. Goldwasser. 2014. *Data Structures and Algorithms in Java*. 6. baskı. United States of America: Don Fowley.
- Hacimahmud, Abdullayev Vugar. 2023. “Vector Logic Analysis of Big Data”. *2023 IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS)* 1–4.
- He, Leifeng, ve Guanjun Liu. 2021. “Verifying Computation Tree Logic Of Knowledge via Knowledge-Oriented Petri Nets And Ordered Binary Decision Diagrams”. 40:1174–96.
- Heaton, Jeff. 2018. “Ian Goodfellow , Yoshua Bengio , and Aaron Courville : Deep learning : The MIT”. *Genetic Programming and Evolvable Machines* 19(1):305–7.
- Holub, Karl, Nicole Hardy, ve Kevin M. Kallmes. 2021. “Toward Automated Data Extraction : A Cross-Sectional Pilot Study of the Structure of Tabular Data in Clinical Comparative Literature Table of Contents”.
- Humphries, Jack Tigar, ve David Mazières. 2021. “Syrup : User-Defined Scheduling Across the Stack”.
- Jang, Saeyoung, Hayoung Byun, ve Hyesook Lim. 2022. “Dynamically Allocated Bloom Filter-Based PIT Architectures”. *IEEE Access* 10:28165–79.
- Jaouadi, Myriam, ve Lotfi Ben Romdhane. 2021. “A distributed model for sampling large scale social networks”. 186(June).



- Jia, Hongjie, Dongxia Zhu, Longxia Huang, Qirong Mao, ve Liangjun Wang. 2023. “Global and local structure preserving nonnegative subspace clustering”. *Pattern Recognition* 138:109388.
- Keramatian, Amir, Vincenzo Gulisano, Marina Papatriantafidou, ve Philippos Tsigas. 2023. “Journal of Parallel and Distributed Computing PARMA-CC : A family of parallel multiphase approximate cluster combining algorithms ☆”. *Journal of Parallel and Distributed Computing* 177:68–88.
- Kim, Sinyoung, Hanju Kim, Myungha Cho, Hyeonmo Kim, Bay Vo, Jerry Chun-wei Lin, ve Unil Yun. 2023. “Knowledge-Based Systems Efficient approach for mining high-utility patterns on incremental databases with dynamic profits”. *Knowledge-Based Systems* 282(March):111060.
- Lagares, Liadys Mora, P. Yunierkis, ve Nikola Minovski. 2022. “Structure – Function Relationships in the Human P-Glycoprotein ( ABCB1 ): Insights from Molecular Dynamics Simulations”. 1–24.
- Liang, Ruiyu, Chaoran Huang, ve Chengguo Zhang. 2023. “Exploring the Fusion Potentials of Data Visualization and Data Analytics in the Process of Mining Digitalization”. *IEEE Access* 11(March):40608–28.
- Lin, Yunxia, ve Songcan Chen. 2023. “Rectified Euler k -means and beyond”. *Pattern Recognition* 137:109283.
- Long, Wancheng, Xiaowen Li, Liping Wang, Fan Zhang, Zhe Lin, ve Xuemin Lin. 2023. “Knowledge-Based Systems Efficient m -closest entity matching over heterogeneous information networks”. *Knowledge-Based Systems* 263:110299.
- Long, Xinjian, Xiangyang Gong, Bo Zhang, ve Huiyang Zhou. 2023. “Journal of Parallel and Distributed Computing Deep learning based data prefetching in CPU-GPU unified virtual memory”. *Journal of Parallel and Distributed Computing* 174:19–31.
- Mahmoudian, Mahshad. 2023. “An Overview of Big Data Concepts , Methods , and Analytics : Challenges , Issues , and Opportunities”. *2023 5th Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)* 554–59.
- Manjunathan, A., E. D. Kanmani Ruby, W. Edwin Santhkumar, A. Vanathi, ve P. Jenopaul. 2021. “Wireless HART stack using multiprocessor technique with laxity algorithm”. 10(6):3297–3302.
- Mardiansyah, Viddi, ve Abdul Muis. 2023. “Multi-State Merkle Patricia Trie (

- MSMPT ): High-Performance Data Structures for Multi-Query Processing Based on Lightweight Blockchain”. *IEEE Access* 11(October):117282–96.
- Moradi, Arghavan, Vahid Majdinasab, Amin Nikanjam, Foutse Khomh, Michel C. Desmarais, Zhen Ming, ve Jack Jiang. 2023. “The Journal of Systems & Software GitHub Copilot AI pair programmer : Asset or Liability ? ☆”. *The Journal of Systems & Software* 203:111734.
- Nguyen, Mo, Jian Yu, Tung Nguyen, ve Yanbo Han. 2021. “Attentional matrix factorization with context and co-invocation for service recommendation”. *Expert Systems With Applications* 186(August):115698.
- Nov, S. C., Université De Lorraine, ve F. Nancy. 2021. “New data structure for univariate polynomial approximation and applications to root isolation , numerical multipoint evaluation , and other problems”. 1–28.
- Patrik, Perh, ve Simonak Slavomir. 2022. “Interactive System for Algorithm and Data Structure Visualization”. 30(1):28–48.
- Peretz, Yossi, ve Yigal Fischler. 2022. “A fast parallel max-flow algorithm”. *Journal of Parallel and Distributed Computing* 169:226–41.
- Plourde, Marc-antoine. 2022. “Synthia : a Generic and Flexible Data Structure Generator”. 207–11.
- Pourabbasi, Elmira, Vahid Majidnezhad, Saeid Taghavi Afshord, ve Yasser Jafari. 2021. “A new single-chromosome evolutionary algorithm for community detection in complex networks by combining content and structural information”. *Expert Systems With Applications* 186(June 2020):115854.
- Ratih, Theresia, Dewi Saputri, ve Seok-won Lee. 2020. “The Application of Machine Learning in Self-Adaptive Systems : A Systematic Literature Review”. 8:205948–67.
- Ros, Frédéric, Rabia Riad, ve Serge Guillaume. 2023. “Neurocomputing PDBI: A partitioning Davies-Bouldin index for clustering evaluation”. 528:178–99.
- Rukundo, Adones. 2022. *Performance Analysis and Modelling of Concurrent Multi-access Data Structures Citation for the original published paper ( version of record ) : Performance Analysis and Modelling of Concurrent Multi-access Data Structures*. C. 1. Association for Computing Machinery.
- Sabharwal, Ashish, ve Bart Selman. 2011. “Book review”. *Artificial*

*Intelligence* 175(5–6):935–37.

- Sakai, Yoshifumi. 2022. “A data structure for substring-substring LCS length queries”. *Theoretical Computer Science* 911:41–54.
- Salam, Abdul, Safdar Jamil, Sungwon Jung, Youngjae Kim, ve Sung-soon Park. 2022. “Future-Based Persistent Spatial Data Structure for NVM-Based Manycore Machines”. *IEEE Access* 10(October):114711–24.
- Semih, Akkurt, ve Şahin Mehmet. 2021. “An efficient edge based data structure for the compressible Reynolds-averaged Navier–Stokes equations on hybrid unstructured meshes”. *Int J NumerMeth Fluids* 94:13–31.
- Serna-serna, Walter, Cyril De Bodt, Andres M. Alvarez-meza, John A. Lee, Michel Verleysen, ve Alvaro A. Orozco-gutierrez. 2023. “Neurocomputing Semi-supervised t -SNE with multi-scale neighborhood preservation”. *Neurocomputing* 550:126496.
- Tanner, Hilsabeck, Arastuie Makan, ve S. Xu Kevin. 2022. “A hybrid adjacency and time-based data structure for analysis of temporal networks”.
- Vivek, Kamra, Kudeshia Prachi, ArabiNaree Somaye, Chen Dong, Akiyama Yasushi, ve Peethambaran Jiju. 2023. “Lightweight Reconstruction of Urban Buildings : Future Directions”. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* 16:902–17.
- Wadhera, Tanu. 2021. “Brain network topology unraveling epilepsy and ASD Association : Automated EEG-based diagnostic model”. *Expert Systems With Applications* 186(May):115762.
- Xie, Junyuan, Ross Girshick, R. B. G. F. B. Com, ve Ali Farhadi. 2016. “Unsupervised Deep Embedding for Clustering Analysis”. *arXiv's* 48.
- Xueying, Lu, Hu Jiankun, Xie Wenyan, ve Wang Haiji. 2023. “Anomaly Recognition Method for Massive Data of Power Internet of Things Based on Bayesian Belief Network”. 17–20.
- Yanagita, Tatsuya. 2022. “Space-Efficient Data Structure for Posets with Applications”. 227(33):33:1-33:0.
- Yang, Lixia, Jinwei Chen, Rui Zhang, Shuyuan Yang, Xinyu Zhang, ve Licheng Jiao. 2023. “Neurocomputing Precise crop classification of UAV hyperspectral imagery using kernel tensor slice sparse coding based classifier”. *Neurocomputing* 551:126487.
- Yang, Xu, Chao Song, Jiqing Gu, Ke Li, ve Hongwei Li. 2025. “Knowledge-

- Based Systems A distributed streaming framework for edge – cloud triangle counting in graph streams”. 278(2023).
- Yarovyi, Andrii, ve Dmytro Kudriavtsev. 2022. “Dictionary data structure for a text analysis task using cross-references”. *2022 IEEE 17th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)* 61–64.
- Youssef, Karim, Abdullah Al, Raqibul Islam, Keita Iwabuchi, Wu-chun Feng, ve Roger Pearce. 2022. “Optimizing Performance and Storage of Memory-Mapped Persistent Data Structures”. *2022 IEEE High Performance Extreme Computing Conference (HPEC)* 1–7.
- Yu, Jaehong, ve Jihoon Kang. 2023. “Engineering Applications of Artificial Intelligence Clustering ensemble-based novelty score for outlier detection”. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 121(March):106164.
- Zhang, Qinli, Yiyang Chen, Gangqiang Zhang, Zhaowen Li, Lijun Chen, ve Ching-feng Wen. 2021. “New uncertainty measurement for categorical data based on fuzzy information structures: An application in attribute reduction”. *Information Sciences* 580:541–77.
- Zhao, Jinchen, ve Mian Ye. 2023. “An Optimization Method for Satellite Data Structure Design Based on Improved Ant Colony Algorithm”. *IEEE Access* 11(June):64941–56.
- Zhao, Yuliang, ve Sheng Dong. 2021. “Design loads and reliability assessment of marine structures considering statistical models of metocean data”. *Ocean Engineering* 241(October):110099.
- Zheng, Hongbin, Sejong Oh, Huiqing Wang, Preston Briggs, Jiading Gai, Animesh Jain, Yizhi Liu, Rich Heaton, Randy Huang, ve Yida Wang. 2020. “Optimizing Memory-Access Patterns for Deep Learning Accelerators”. *arXiv's* 2–4.
- Zhu, Yi, Xindong Wu, Jipeng Qiang, Yunhao Yuan, ve Yun Li. 2021. “Representation learning with collaborative autoencoder for personalized recommendation”. *Expert Systems With Applications* 186(May):115825.



## BÖLÜM 4

### ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA KULLANILAN AKI ANAHTARLAMALI MOTOR ÇEŞİTLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Sümeyye ÇARKIT<sup>1,2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556471>

---

<sup>1</sup>Kırklareli Üniversitesi, Gıda Arzı Güvenliği ve Dijitalleşme Ortak Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kırklareli, Türkiye. scarkit@klu.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-5236-4813

<sup>2</sup>Bu çalışma Doç. Dr. Nurettin ÜSTKOYUNCU danışmanlığında tamamlanan, birinci yazarın yüksek lisans tezinden üretilmiştir.



## 1. GİRİŞ

Gelişen teknoloji, kaynakların sınırı, sera gazı, karbon ayak izi gibi değişimler sonucunda elektrikli araçlar (EA) da gelişerek çeşitlenmektedir. EA'lar üzerinde yapılan araştırma ve geliştirme çalışmalarından birisi de: araç tahrik sisteminde yer alan motorlardır. Bu motorların alternatiflerinin oluşturulması seçim ve üretim kabiliyetini artıracaktır. Bu doğrultuda planlanan bu çalışmada akı anahtarlamalı motorlar (AAM) incelenmektedir. AAM'ler, EA'larda kullanılan sürekli mıknatıslı elektrik motorlarına alternatif olarak görülen fırçasız yapıda üretilen yeni bir motor çeşididir. Karmaşık yapıda olmayan AAM'ler, hacimsel olarak büyük motorların kullanıldığı alanlarda maliyet avantajına sahiptir. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde anahtarlamalı relüktans motor (ARM) ve Sürekli mıknatıslı senkron motor (SMSM) kombinasyonu olarak görülebilen AAM'lerin özellikleri şu şekilde sıralanabilmektedir:

- Motor yapısının sağlam olması,
- Üretim aşamasında basit motor yapısına sahip olması,
- Motor yapısından dolayı üretim aşamasında kolaylık sağlaması,
- İçyapısında yer alan rotor kısmında sürekli mıknatısların bulunmaması,
- Rotor sargıların olmaması,
- Rotor yapısından dolayı üretim, işletme ve bakım maliyetlerinin az olması,
- Motor yapısında yer alan hava aralığında yüksek akı yoğunluğunun oluşabilmesi,
- Yüksek akı yoğunluğundan dolayı yüksek tork ve güç üretimine olanak sağlaması,
- Ağırlık başına denk gelen güç miktarının (güç/ağırlık oranı) fazla olması,
- Birlikte kullanıldığı motor sürücüsünün etkisiyle akustik gürültü seviyelerinin düşük olması,
- Daha az titreşim oluşturması, olarak sıralanabilmektedir.

AAM'ler ARM'ler ile karşılaştırıldığında aşağıdaki durumlar ortaya çıkmaktadır:



- AAM'nin güç yoğunluğunun yüksek olması,
- Kontrolünün kolay olması,
- Daha düşük maliyette güvenilir sürüş olanağına sahip olması,
- ARM'lere göre nispeten daha verimli olması,
- ARM'lere benzer şekilde motor yapısının dayanıklı ve kompleks olmaması gibi özelliklere sahiptir.

AAM'ler ilk olarak 1950'li yılların ortalarında ortaya çıkmaya başlamıştır. Bu motor türlerindeki çıkıntılı haldeki kutuplar, rotorun hareketini izleyerek akı bağıntısının kaydırılması işlemi olarak isimlendirilen “akı anahtarlama” olayını oluşturmaktadır. Hoang, 1997 yılında yaptığı çalışmalarda; stator kutuplarına sürekli mıknatıslar yerleştirerek yeni bir motor türü olan sürekli mıknatıslı akı anahtarlama motor (SMAAM) yapısını oluşturmuştur (Wang, 2018).

AAM'nin diğer elektrik motorları ile karşılaştırılmasıyla birlikte bu motor türünün geliştirilmesi konusunda da yapılan birçok tasarımsal ve deneysel uygulamalarla karşılaşılmaktadır. Şöyle ki: Pollock vd. 2003 yılında yaptıkları çalışmada; aynı büyüklükteki AAM ile universal motorun performansını karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Çalışmaları sonucunda; maksimum güç çıkışına daha düşük hızlarda AAM'lerin ulaştığını öte yandan, universal motorda pik verimi daha yüksek olurken AAM'lerin maksimum güç çıkışlarında daha yüksek verim sağladıklarını görmüşlerdir (Hemamalini, 2016). Aynı yıl yapılan başka bir çalışmada (Pollock & Brackley, 2003); AAM ve ARM'nin karşılaştırması sonucunda, AAM'deki alan sargılarının sürekli uyarılmasıyla motordaki manyetik enerjinin korunduğunu dolayısıyla, AAM'de meydana gelen gürültünün azaldığını görmüşlerdir. Pollock vd. 2003 yılında yaptığı farklı bir çalışmada (Pollock & Brackley, 2003); eksenel fan kullanarak AAM ile indüksiyon motorunu (İM) karşılaştırmışlardır. Benzer shaft, yatak, stator gövdesi ve uç kapaklarına sahip AAM ile İM'nin karşılaştırılması sonucunda ise; AAM'lerin %8.5 oranda daha verimli olduğu görülmüştür. Ayrıca, İM'ye karşı verimin yüksek olmasında değişken hızlardaki kontrol edilebilirlik etkisinin faydası olmuştur. Yapılan karşılaştırmada sarım konfigürasyonu, farklı sincap kafes ve relüktans tip rotorlar da dikkate alınmıştır.

2005 yılında Zhu vd. (Zhu vd., 2005), AAM'lerin elektromanyetik performansını tahmin etmek için akı sızıntısı ve manyetik doygunluğu dikkate almışlardır. Çalışmayı yapabilmek için doğrusal olmayan uyarlanabilir manyetik devre modeli tasarlamışlardır. İki ve üç boyutlu sonlu elemanlar analiz yöntemi yardımıyla zıt EMK dalga formu, öngörülen hava boşluğu alan dağılımı, elektromanyetik tork ve sargı indüktansları üzerinde çalışmışlardır (Kumar & Srivastava, 2016). Amara vd.'nin 2005 yılında yaptıkları çalışmada; bir uçak yağı havalandırma uygulaması için farklı AAM'lerin elektromanyetik tasarımları karşılaştırmışlardır. Söz konusu çalışmada ferrit mıknatıslı ve nadir toprak mıknatıslı (SmCo) iki farklı konfigürasyona ait uygulama sunmuşlardır. Daha düşük çalışma sıcaklıklarından dolayı neodyum demir boron (NdFeB) mıknatısları dikkate alınmamıştır (Amaran vd., 2005).

Bangura, 2006 yılında yaptığı çalışmada; AAM'leri diğer motor türleri ile karşılaştırmıştır. Yaptıkları kıyaslama sonucunda; AAM'lerin İM ve üniversal motorlara göre daha az maliyetli, daha düşük akustik gürültüye sahip, daha hızlı reaksiyon gösterebilen sürüş özelliklerini sergilediklerini görmüşlerdir. Ayrıca, başlangıç aşamasındaki boyutsal tasarımlarda kolaylıkla hesaplama yapılabilmesi için alternatif ve pratik bir yol göstermişlerdir. Sonlu eleman analiz yöntemi ile belirli aralıklardaki parametrelerin tahmin edilebileceği gösterilmiştir (Bangura, 2006).

2009 yılında Hua vd.'nin yaptığı araştırmada; hava aralığı alanının kolaylıkla kontrol edilebildiği ve hibrit araçlarda kullanılma potansiyeli olan yeni tür hibrit uyartımlı bir akı anahtarlamalı motoru (HUAAM) önermişlerdir. Çalışma prensibi, cogging torku, motor topolojisi, motor tasarımı, farklı uyartımlara maruz bırakılan zıt EMK dalga formları, faz akı bağıntısı dahil statik özellikleri sonlu elemanlar analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. HUAAM'nin alan düzenleme kabiliyetini ve diğer üstünlüklerini yorumlamışlardır (Hua vd., 2009).

Sulaiman vd.'nin 2013 yılında yaptıkları çalışmada (Sulaiman vd., 2013), ASAAM'nin alan uyartım sargısına DA uygulayarak tasarım çalışmasını yapmış ve akı bağıntısını analiz etmiştir. Çalışmada, ASAAM'nin tasarımına ait çizimler, kullanılan malzemeler ve parçalar, koşullar ve özelliklerin dahil olduğu tasarım prosedürü açıklanmıştır. Tasarım prosedürüyle birlikte elektrik makinesinin çalışma prensibini açıklayarak, her bir armatür bobininin faz pozisyonunu doğrulamak için bobin düzenleme testleri incelenmiştir. Son olarak, DA alan uyartım sargısı ve armatür sarguları

arasındaki akı etkileşimi, alan uyartım sargısının akı yetenekleri, indüklenen gerilim ve başlangıç torkları mevcut farklı koşullarda analiz edilmiştir (Kumar & Srivastava, 2016).

Hua vd. (Hua vd., 2014), 2014 yılında beş fazlı iki adet HUAAM'nin farklı stator şekilleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Çalışmanın başlangıcında zıt elektromotor kuvveti, elektromanyetik tork, faz akısı, cogging tork ve indüktans gibi özellikleri içeren elektromanyetik performanslar verilmiştir. İki boyutlu sonlu eleman analiz yöntemi yardımıyla, farklı alan akımları altındaki elektromanyetik tork özelliklerine göre akıdaki güçlendirici ve zayıflatıcı yetenekler incelenmiştir. Elde ettikleri veriler sonucunda U-çekirdek topolojisinin beş fazlı HUAAM için iyi bir tercih olduğunu göstermişlerdir.

2015 yılında Zhang vd. tarafından yapılan çalışmalarda (Zhang vd., 2015a), alan sargılarının birinden geçen akımın yönünü tersine çevirerek temel HUAAM'ye dayalı akı düzenleme yeteneğini geliştirmek için bir topoloji önermişlerdir. İncelenen topoloji temel motor yapısı ile benzerlik göstermektedir. Farklılığın kaynağı; bazı alan sargılarında farklı akım yönleri ve dolayısıyla farklı alan sargılarının uyumu olarak görülmektedir. SEA yöntemiyle yapılan karşılaştırmada, HUAAM'daki yüklü ve yüksüz armatür tork kapasitesinin temel motor yapısından daha iyi olduğu görülmüştür. Sonlu elemanlar yöntemiyle elde edilen analiz sonuçları deneysel çalışmalar ile desteklenmiştir. Sırasıyla E-çekirdek ve C-çekirdek stator laminasyonlarına sahip iki adet altı fazlı HUAAM'nin tasarımını önermişlerdir. Stator kutuplarının arasına atılmış demir köprülerin performansa olan etkilerini incelemişlerdir. C-çekirdeğinde, alternatif dış sargılı armatür sarımlarını armatür fazları arasındaki fiziksel ve manyetik izolasyonları elde etmek için kullanmışlardır. E-çekirdeğe ve C-çekirdeğe sahip motor tasarımlarının kapsamlı olarak karşılaştırmalarını yapmışlardır. Sonlu eleman analizi kullanılarak yapılan çalışmada iki adet HUAAM prototipi üzerinde deneysel ölçümler de yapmışlardır (Zhang vd., 2015b).

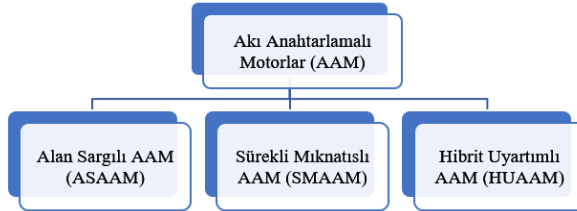
Pollock vd., 2017 yılında patente konu olan bir çalıma yapmışlardır. Motorun statorundaki kutup yuvalarında asimetrik şekilde tasarımın yanında rotor tasarımında da oluklu bir yapı kullanmışlardır. Rotor oluşu, normal tork üreten akı yolları üzerinde minimum etkiye sahip olan bir rotor dışında düşük geçirgenlikli bir yol oluşturmak için kullanılmıştır. Üç fazlı AAM'de daha yüksek tork ve daha düşük tork dalgalanması sağlanmıştır. Patente konu olan

buluş, her iki yönde çalışabilen düşük maliyetli tek fazlı motorlar ve geliştirilmiş performansa sahip üç fazlı AAM'leri konu edinmiştir (Pollock & Pollock, 2017).

Görüldüğü üzere; literatürde AAM'ler hakkında birçok farklı çalışmaya rastlanabilmektedir. Günümüzde farklı motor tasarımları üzerinde çalışmalar devam etmektedir.

## 2. AKI ANAHTARLAMALI MOTOR ÇEŞİTLERİ

2000'li yılların başlarından itibaren AAM'ler uygulama alanlarına göre değerlendirilerek fırçasız makineler olarak ilgi çekmiştir. AAM'lerde mıknatıslar tarafından üretilenler de dahil olmak üzere tüm uyarma sistemleri statorun üzerinde yer almaktadır. Bu yerleşim planı mıknatısların montajında, motorun soğutulmasında daha fazla avantaj sağlamaktadır (Zulu vd., 2012). Literatürde yapılan çalışmalardan tasarımsal ve deneysel çalışmalar incelendiğinde AAM'ler Şekil 1'deki gibi üç farklı gruba ayrılabilir. Hibrit uyarımlı AAM'lerde hem alan sargısı hem de sürekli mıknatıs yapıları yer almaktadır (Kumar & Srivastava, 2016).



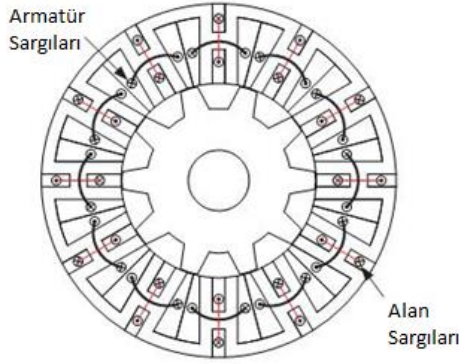
Şekil 1. Akı anahtarlama motor çeşitleri (Kumar & Srivastava, 2016)

## 3. ALAN SARGILI AAM (ASAAM)

Stator hem DA alan sargısını hem de armatür sargılarını içermektedir. Armatür sargıları genellikle üç fazlı sinüzoidal gerilim veya üç faz akım tarafından beslenmektedir. Armatür sargılarının beslenme şekli dolayısıyla, ASAAM'lerin titreşimleri ve akustik gürültüleri ARM'lere kıyasla az olmaktadır (Riba & Lopez, 2016). Sürekli mıknatıslı (SM) AAM'lerle karşılaştırıldığında; SMAAM'ler ve HUAAM'ler daha yüksek tork yoğunluğuna ve verimliliğe sahiptir. Buna rağmen, bu iki tür AAM'lerin aşağıda sıralanmakta olan sürekli mıknatıs kaynaklı bazı dezavantajları bulunmaktadır:

- Sürekli mıknatıslar, motor maliyetini artırmaktadır,
- SM'ler için geri dönüşümsüz manyetik giderme, yüksek sıcaklıkta hala mümkündür,
- SM'ler tarafından stator birçok bölüme ayrılmaktadır,
- Statorlar için mekanik dayanım nispeten zayıftır.

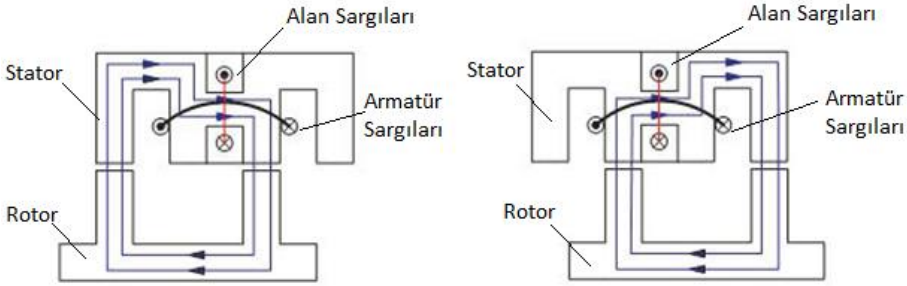
Araştırmacılar tarafından; hem alan hem de armatür sarımlarının stator üzerine yerleştirildiği SM içermeyen ASAAM makineleri önerilmektedir. ASAAM'nin maliyetleri büyük ölçüde azaltılmakta ve SM'lerle ilgili yukarıda bahsedilen durumların olumsuz etkileri giderilebilmektedir.



**Şekil 2.** Alan sargılı akı anahtarlama motorunun (ASAAM) yapısı (Kumar & Srivastava, 2016)

Yapısı Şekil 2'de gösterilmekte olan ASAAM'ler hem armatür sarımlarının hem de alan sarımlarından dolayı geleneksel tip SMAAM'ye benzerlik göstermektedir (Kumar & Srivastava, 2016). ASAAM armatür sargıları, SMAAM'lerinkine benzer bir şekilde sarılmaktadır. DA uygulanan alan sargıları; sabit mıknatıslar gibi çalışarak radyal yönde yerleştirilmektedir. Alan sargıları nedeniyle oluşan DA uyarma alanlarının SMAAM'deki sabit mıknatıslar gibi zıt yönlere sahiptir. ASAAM'lerin çalışma prensibi tipik SMAAM'lere benzerlik göstermektedir. Şekil 3'te görülmekte olan rotorundaki çıkıntılı kutuplar sürekli hareket ettiğinden, armatür sargılarındaki alan akısı periyodik olarak değişiklik göstermektedir (Kumar & Srivastava, 2016). Alan sargısının oluşturduğu akı ve armatür sargılarının akısı arasındaki birleştirme reaksiyonunun bir sonucu olarak, bir elektromanyetik

tork üretilerek rotorun dönmesi sağlanmaktadır. ASAAM makinelerinde hava boşluğu alanı kontrol edilebilir DA akımları tarafından üretildiği için, SMAAM'lerden farklı olarak kolayca zayıflatılabilir veya güçlendirilebilmektedir. Bu nedenle, ASAAM makineleri yüksek tork yoğunluğu ve geniş hız düzenleme aralığının gereklilikleri ile maliyetler arasında iyi bir uzlaştırıcı seçenek olarak düşünülebilmektedir.



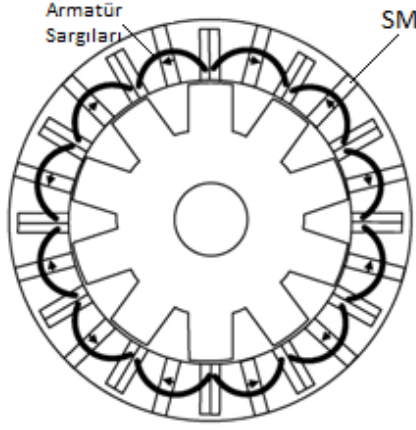
**Şekil 3.** ASAAM'nin çalışma prensibi (Kumar & Srivastava, 2016)

#### 4. SÜREKLİ MIKNATISLI AAM (SMAAM)

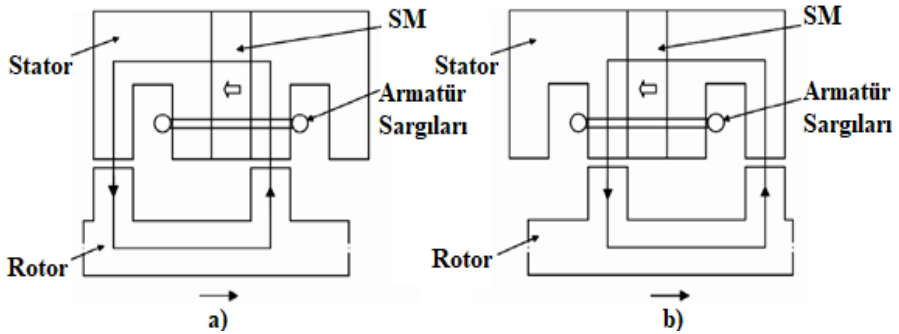
Bu motorla; alan sargılı AAM'nin statorundaki alan sargılarının yerine sürekli mıknatıslar yerleştirilerek oluşturulmuş bir AAM çeşididir. Şekil 4'te verilmekte olan SMAAM'nin yapısı ARM'nin yapısına benzerlik gösterse de, SMAAM'nin akustik gürültüsü farklı bir akı kontrol yöntemi yardımıyla ARM'den daha düşük seviyelerde tutulabilmektedir (Wang, 2018). Sinüzoidal zıt EMK ve daha yüksek tork yoğunluğuna sahip olan SMAAM, fırçasız AA motor sürücülerini ile rekabet edebilmektedir. SMAAM'lere olan ilginin artmasında; yüksek güç yoğunluğu, mekanik sağlamlık ve tork kapasitesi gibi avantajları yer almaktadır (Somesan vd., 2012).

ASAAM ile benzer prensipteki SMAAM'lerin çalışma prensibi Şekil 5'te görüldüğü gibi açıklanabilmektedir (Zhang vd., 2008). Şekil 5(a)'daki rotor kutbu, üzerinde armatür sargısı ve sürekli mıknatıs bulunan stator kutbuyla hizalanmaktadır. Sürekli mıknatıs akısı rotor kutbundan ve stator kutbuna doğru gitmektedir. Rotor kutbu, Şekil 5(b)'deki aynı sargıya ait diğer stator kutbuyla hizalanmak için ileri doğru hareket ettiğinde, sürekli mıknatıs akısı stator kutbundan rotor kutbuna gitmektedir. Böylece "akı anahtarlama" işlemi gerçekleşmektedir.

Sargılara SM akı bağlantısına uygun olarak alternatif akımlar uygulandığında, motor tork üretmektedir. SMAAM'deki armatür reaksiyon akısı mıknatıslardan geçmediği için, mıknatısların geri dönüşümsüz demanyetizasyon dayanım kapasitesi yüksektir. Kapasitenin yüksek olması, SMAAM'yi akı zayıflatma işlemi için uygun hale getirmektedir. Tasarımsal olarak motor yapısında değişiklikler yapılabilme imkanı olduğundan; akı odaklama veya ferritler gibi düşük maliyetli mıknatıslar kullanılabilir (Hua vd., 2014).



Şekil 4. SMAAM'nin yapısı



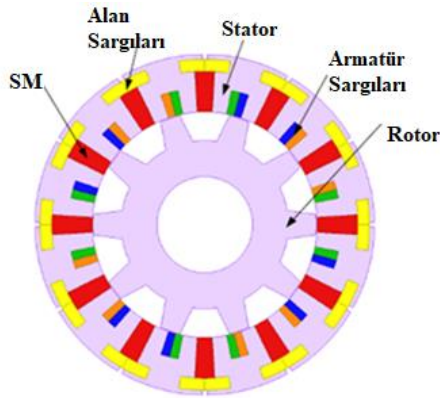
Şekil 5. SMAAM'nin çalışma prensibi (Zhang vd., 2008)

## 5. HİBRİT UYARTIMLI AKI ANAHTARLAMA MOTORU (HUAAM)

Sürekli mıknatıslı akı anahtarlamalı motor (SMAAM), doğal olarak sinüzoidal SM akı bağıntısı, zıt EMK dalga biçimleri ve yüksek tork kapasitesi sergileyen geleneksel rotorda SM topolojisi yerine statorda mıknatıslara ve armatür sargılara sahip nispeten yeni bir tür fırçasız motor türüdür. Ancak, hava boşluğu alanı sadece statordaki mıknatıslar tarafından üretildiğinden, akı bağıntısının düzenlenmesi zordur (Hua vd., 2009). Bu nedenle, bir hibrit uyarma yöntemi, yani Şekil 6’da olduğu gibi SMAAM’ye bir dizi alan sargısının eklenmesiyle kullanılabilir (Zhao vd., 2014).

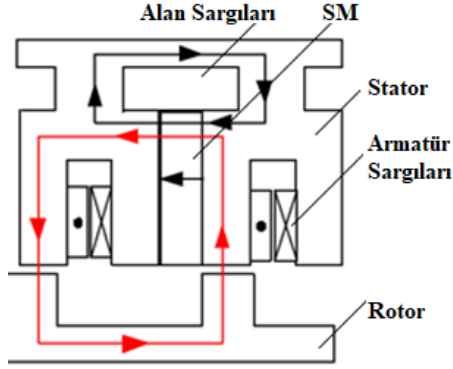
HUAAM'nin yapısı geleneksel AAM'den biraz farklı olmasına rağmen, temel çalışma prensipleri olan “Akı Anahtarlama Prensibi” benzerlik göstermektedir. Bu akıya dayalı akı anahtarlama prensibi, relüktans motorun prensibine benzer olan minimum relüktans yolundan geçmektedir.

Sürekli Mıknatıs (SM) tek başına çalıştığında akı yolu Şekil 7’de gösterildiği gibi olmaktadır (Zhao vd., 2014). Statorun geçirgenliği havadan çok daha büyük olduğu için, akı çizgilerinin çoğu akı yolundan akar ve bu da sürekli mıknatısın daha az kullanılmasına neden olmaktadır. Hava boşluğundan sadece birkaç akı yolu geçmektedir. Hava boşluğu akı yoğunluğunu artırmak için; daha ince bir akı yolu kurmak uygun olabilmektedir.

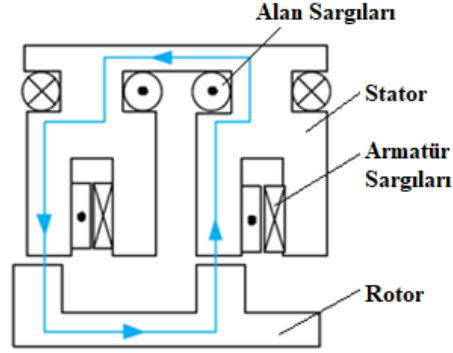


Şekil 6. HUAAM'nin yapısı (Zhao vd., 2014)





Şekil 7. HUAAM'nin çalışma prensibi (sadece SM'lar çalışıyor) (Zhao vd., 2014)

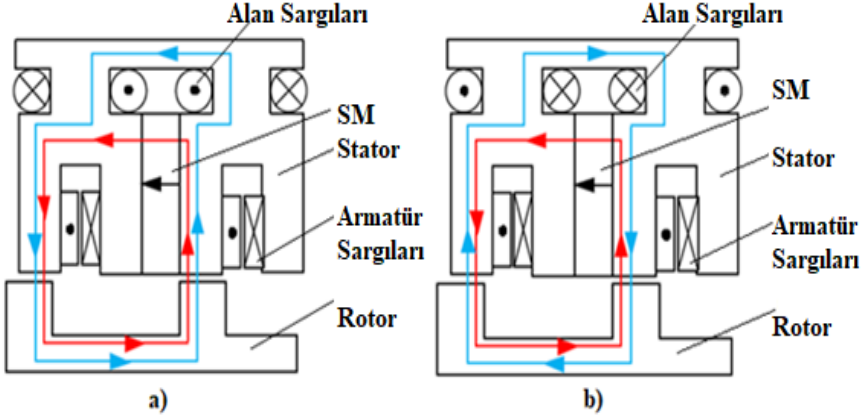


Şekil 8. HUAAM'nin çalışma prensibi (sadece AS'ler çalışıyor) (Zhao vd., 2014)

Alan sargıları (AS) tek başına çalıştığında, akı yolu Şekil 8'deki gibi oluşmaktadır (Zhao vd., 2014). SM'nin geçirgenliği statorun çok daha küçük olduğundan akı hatlarının çoğu hava boşluğundan akmaktadır. Akı yolu, uyarma akımının yönünü ve genliğini kontrol ederek değiştirebilmektedir. Hava boşluğu akı yoğunluğunu artırmak için; daha kalın bir akı yolu tasarlamak uygun görülebilmektedir.

Sürekli mıknatıslar (SM) ve alan sargıları (AS) birlikte aynı yönde çalıştığında, akı yolu Şekil 9(a)'da gösterildiği gibi meydana gelmektedir. Hava boşluğu akı yoğunluğu artırılması daha büyük bir başlangıç torku üretimini sağlayabilmektedir. Diğer tarafta, SM ve AS ters yönde çalıştığında, Şekil 9(b)'de gösterilen hava boşluğu akı yoğunluğu zayıflamaktadır. Bu

durumda, akı kullanılarak geniş bir hız aralığı elde edilebilmektedir (Zhao vd., 2014).



**Şekil 9.** HUAAM'nin çalışma prensibi (hem SM'lar hemde AS'ler çalışıyor) (Zhao vd., 2014)

## SONUÇ

Elektrikli araçlarda kullanılan geleneksel motor türlerine güçlü bir rakip olarak akı anahtarlamalı motor tercih edilebilmektedir. Bu çalışmada, Akı anahtarlamalı motorun özellikleri, literatür geçmişi, diğer bazı motorlar ile karşılaştırılması hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, akı anahtarlamalı motor da kendi içerisinde çeşitlenmiştir. Akı anahtarlamalı motor türleri hakkında bilgi verilmiştir. Görülmektedir ki, üretim maliyetlerinin azaltılması ve gerekli mekanizmalar tarafından desteklenmesi durumunda, akı anahtarlamalı motorlar günümüz araçlarında kullanılabilir potansiyele sahiptir. Öte taraftan, bu konu ve ilgili motorun gelişiminin tamamlayabilmesi için araştırmacılar tarafından birçok çalışma yapılmaya devam etmektedir.

## **KAYNAKÇA**

- Bangura, J.F. (2006). Design of high-power density and relatively high-efficiency flux-switching motor. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 21(2), 416-425.
- Hemamalini, B. (2016). Design and analysis of flux switching motor. Anna University, PhD Thesis, India, 125 p.
- Hua, W., Cheng, M., Zhang, G. (2009). A novel hybrid excitation flux-switching motor for hybrid vehicles. *IEEE Transactions on Magnetics*, 45(10), 4728-4731.
- Hua, W., Zhu, Z.Q., Cheng, M., Pang, Y., Howe, D. (2005). Comparison of flux-switching and doubly-salient permanent magnet brushless machines. *International Conference on Electrical Machines and Systems*, 165 - 170.
- Kumar, A., Srivastava, A. (2016). Performance investigation of various flux-switching machines for hybrid electric vehicles: A review. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 5(12), 9246-9256.
- Pollock, C., Brackley, M. (2003). Comparison of the acoustic noise of a flux-switching and a switched reluctance drive. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 39(3), 826-834.
- Riba, J.R., López-Torres, C., Romeral, L., Garcia, A. (2016). Rare-earth-free propulsion motors for electric vehicles: A technology review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 367-379.
- Somesan, L., Padurariu, E., Viorel, I.A., Szabo, L. (2012). Design of a permanent magnet flux-switching machine. *9th International Conference Elektro*, 256-259.
- Sulaiman, E., Teridi, M.F.M., Husin, Z.A., Ahmad, M.Z., Kosaka, T. (2013). Performance comparison of 24s-10p and 24s-14p field excitation flux switching machine with single dc-coil polarity. *IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference*.
- Zhang, G., Hua, W., Cheng, M., Liao, J. (2015). Design and comparison of two six phase hybrid-excited flux-switching machines for EV/HEV applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(1), 481-493.

- Zhang., J., Cheng, M., Chen, Z. (2008). Optimal design of stator interior permanent magnet machine with minimized cogging torque for wind power application. *Eney Conversion and Managment*, 49(2008), 2100–2105.
- Zhang, G., Hua, W., Cheng, M., Liao, J., Wang, K., Zhang, J. (2015). Investigation of an improved hybrid-excitation flux-switching brushless machine for HEV/EV applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 51(5), 3791-3799.
- Zhao, J., Yan, Y., Li, B., Liu, X., Chen, Z. (2014). Influence of different rotor teeth shapes on the performance of flux switching permanent magnet machines used for electric vehicles. *Energies*, 7, 8056-8075.
- Zhu, Z., Q., Pang, Y., Howe, D., Iwasaki, S., Deodhar, R., Pride, A. (2005). Analysis of electromagnetic performance of flux-switching permanent-magnet machines by nonlinear adaptive lumped parameter magnetic circuit model. *IEEE Transactions on Magnetics*, 41(11), 4277-4287.
- Wang, T. (2018). Finite-control-set model predictive control of axially laminated flux switching permanent magnet machine with extended voltage space vectors. University of Technology, PhD Thesis, Sydney, 235 p.



**BÖLÜM 5**  
**ELEKTRİK MOTORLARININ ARIZALARININ TESPİTİNDE**  
**YAPAY ZEKA YÖNTEMLERİNİN KULLANILMASI**

Vekil SARI<sup>1</sup>  
Volkan GÖREKE<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556477>

---

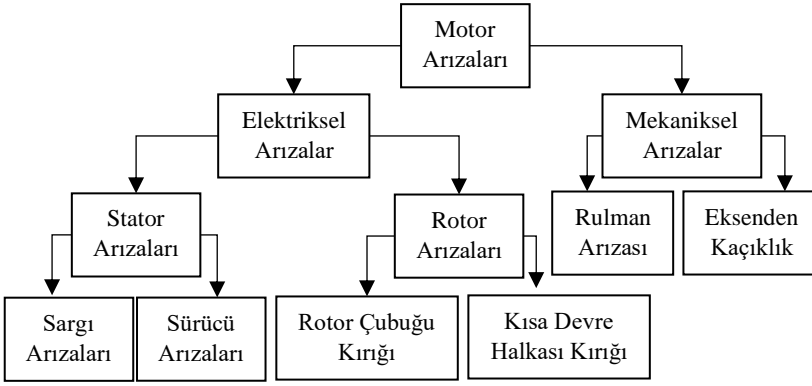
<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye. vsari@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: 0000-0001-5963-0179

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Sivas Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Sivas, Türkiye. vgoreke@cumhuriyet.edu.tr, Orcid ID: 0000-0002-2418-8373



## 1. GİRİŞ

Günümüzde elektrik motorları birçok alanda kullanılmaktadır. Elektrik motorlarının bulunduğu sistemlerde, elektrik motorları arızalandığında sistem durur, üretim aksar, masraflar artar, işgücü ve zaman kaybı olur. Bu yüzden, elektrik motorlarının tamamen arızalanmadan, arızaların erken dönemde tespit edilmesi, sistemin sürekliliği, güvenlik ve ekonomik nedenlerden dolayı önemlidir. Motor tamamen arızalanmadan arızalar tespit edilirse, motor daha çok hasara uğramamış olur ve oluşabilecek tehlikeler de önlenmiş olur (Koca ve Ünsal, 2017).



Şekil 1: Elektrik Motoru Arızaları (Akar ve ark., 2011).

Tablo 1: Ana motor parçalarının arızalanma oranları (Yeh ve ark., 2008).

Ana Parça	IEEE-IAS (%)	EPRI (%)
Yatakla ilişkili	44	41
Sargıyla ilişkili	26	36
Rotorla ilişkili	8	9
Diğer	22	14

Elektrik motorlarının arızaları genel olarak elektriksel ve mekanik olarak ikiye ayrılabilir (Ünsal ve Karakaya, 2015). Elektriksel arızalar; empedans dengesizliği, direnç dengesizliği, zayıf güç kalitesi, yalıtım bozulması, aşırı akım ve yüklenme gibi elektriksel nedenlerden kaynaklanan arızalardır. Mekanik arızalar ise; mekanik dengesizlik, yanlış hizalama, uç halkalarının kırılması, kırık rotor çubukları, yatak yorgunluğu, soğutma kaybı, uygunsuz yağlama ve aşırı ısınma gibi mekanik nedenlerden kaynaklanan arızalardır. Elektrik motorlarının ana arızalarının dağılımı, yatak (%69), stator



sargısı (%21), rotor çubuğu (%7) ve şaft/kaplin (%3) arızaları olarak listelenmiştir (Majdi ve ark., 2021). Şekil 1' de motor arızalarının sınıflandırılması gösterilmiştir. Tablo 1'de ise motorların ana parçalarının arıza oranları yüzde olarak görülmektedir. Kırık rotor çubuğu arızası, motorlarda moment ve hızda dengesizliklere neden olur. Bu durum motorun dinamik performansını olumsuz yönde etkiler (Kuş, 2019).

## **2. YAPAY ZEKA KULLANILARAK ELEKTRİK MOTOR ARIZALARININ TEŞHİSİ**

Yapay zeka kullanılarak elektrik motor arızalarının teşhisinde kullanılan sistemler genelde 3 kısımdan oluşmaktadır:

1. Motorun izlenmesi
2. Özellik Belirleme
3. Hatanın sınıflandırılması

### **2.1. Motorun İzlenmesi**

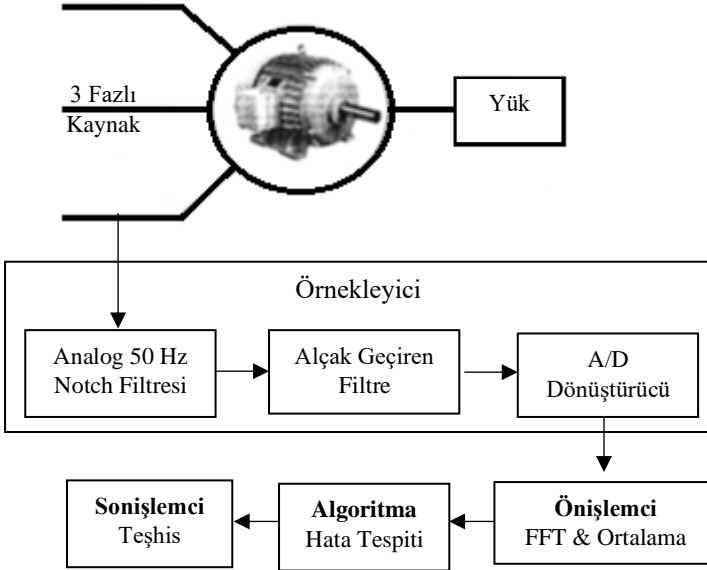
Elektrik motorlarının arızalarının erken dönemde tespit edilebilmesi için sistem sürekli izlenmelidir. Motorların çeşitli verileri (akım, gerilim, sıcaklık, basınç, gürültü, titreşim, buhar akışı) izlenerek kontrol sağlanabilir. İzleme sonucunda bir aksaklık olduğu tespit edilirse, arızanın nereden kaynaklandığını bulmak için şu yöntemler kullanılabilir (Majdi ve ark., 2021; Şenol, 2008; Mehala ve Dahiya, 2007):

- Motor akım imza analizi
- Titreşim analizi,
- Ses analizi,
- Parametre kestirimi,
- Kısmi boşalma test yöntemleri,
- Spektrum analizi,
- Elektromanyetik tork ve akı fazörünün zaman alanı analizi
- Uzay vektörü açısız dalgalanması ile algılama
- Motor torku ve hızının harmonik analizi

### 2.1.1. Motor Akım İmza Analizi (Motor Current Signal Analysis MCSA)

MCSA, elektrik motorlarının arızalarının tespitinde kullanılan yöntemlerden birisidir. Elektrik motorlarındaki arızaların motorun çektiği akımı etkileyeceği düşüncesiyle motor akımının izlenmesi, motor arızalarının tespitinde kullanılmaktadır.

MCSA'de, motorun girişindeki akım örneklenir ve bir veri toplama cihazı tarafından toplanır. Toplanan bu sinyaller işlenerek hata durumlarına ait bir eşleşme olup olmadığına bakılır. Böylelikle hata durumu tespit edilebilir. Şekil 2'de bir stator faz akımından izleme şeması görülmektedir (Benbouzid, 2000).



Şekil 2: Bir stator faz akımından izleme şeması (Benbouzid, 2000).

### 2.1.2. Titreşim Analizi

Motorların arıza teşhisinde çeşitli titreşim analiz teknikleri de kullanılmaktadır. Bir motorun sağlıklı çalışması önemlidir. En iyi çalışma koşullarında bile motorlar, küçük kusurlar nedeniyle bir miktar titreşime sahiptirler. Her motorun normal olarak kabul edilebilecek bir titreşim seviyesi vardır. Ancak, bazı mekanik sorunlar nedeniyle motorun titreşim seviyesi artar. Dengesizlik, yanlış hizalama, aşınmış dişliler veya yataklar, gevşeklik

gibi sorunlar nedeniyle aşırı titreşim oluşabilir. Motorun titreşim seviyesi sensörler yardımıyla ölçülür. Bunlar yakınlık sensörü, hız dönüştürücü ve ivmeölçerdir. İvmeölçerler çoğunlukla titreşim analizi için kullanılır (Vishwakarma ve ark., 2017).

### **2.1.3. Ses Analizi**

Ses analizi ile motor arızalarının tespiti yapılabilir. Bunun için bir mikrofon yardımı ile motorun sesi sürekli izlenmelidir. İzlenen motorun sesi sağlam motorun sesi ile karşılaştırılarak motorun arızası tespit edilebilir. Daha önce yapılan bir çalışmada (Erbahan ve Alışkan, 2019), mikrofondan alınan ses verileri Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform FFT) ile frekans domenine dönüştürülmüştür. Daha sonra sağlam motora ait ve kırık rotor çubuklu motora ait farklı hızlarda ve torklardaki ses dosyaları arasındaki FFT farklılıkları bulunmuş, k-en yakın komşu algoritması (k-Nearest Neighbor KNN) ile değerlendirilmiştir. Sonuçta, sağlam ve bozuk motorun FFT farklılıkları incelenmiş, motorun hatası ses analizi ile tespit edilmiştir. Bu çalışmada motor arızalarının tespitinde % 80 lik bir başarı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre arıza alarmı verebilen bir cihaz oluşturulabileceği sonucuna varılmıştır.

## **2.2. Özellik Belirleme**

Sağlam motorun parametreleri sürekli izlenerek elde edilen veriler gözlenir. Motorda meydana gelen bir hata durumunda sağlam motordaki verilerden farklı veriler elde edilir (Aydın ve ark., 2009a).

Elektrik motorlarının arıza tespitinde, özellik çıkarımı ve faydalı özniteliklerin seçimi gereklidir. Özellik çıkarım yöntemlerinden bazıları şunlardır: Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform WT), Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transform STFT), Hızlı Fourier Dönüşümü (Fast Fourier Transform FFT) ve Sınır analizi (Boundary Analysis BA). Sınıflandırma için doğru özellikleri seçmek önemli ve zor bir işlemdir (Ertarğın ve ark., 2023).

Özellik belirlemedeki amaç, çevreden alınan ham bilgiyi kararlı, ölçülebilir ve küçük boyutlu bir bilgi haline getirebilmektir. Özellik belirlemede üç adım izlenir. Bunlar:

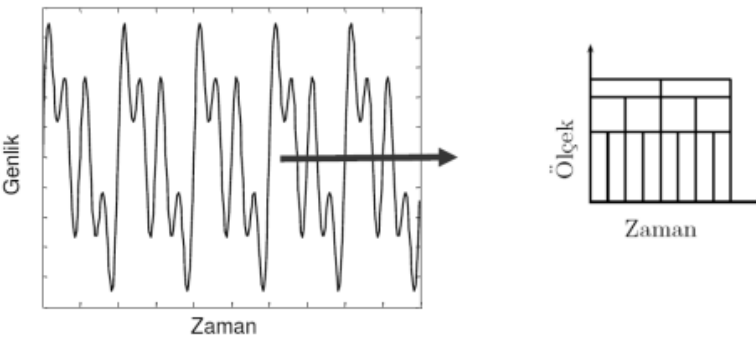
Ön işleme: Özellik belirlemenin birinci adımındır. Bu adımda gerekirse veri filtreleme yapılır, işlenir, bileşenlerine bölünür veya modellenir.

Özellik çıkarma: Sınıflandırılacak veri, çok fazla miktarda ve gereksiz bilgi içerdiği zaman, sınıflandırma hassasiyeti düşük olur ve işlem süresi de artar. Bu olumsuzluğun üstesinden gelmek için, gereksiz veri elenir ve daha düşük boyutlu veriye dönüştürülür.

Özellik seçme: Özellik çıkarma sonucundaki özellik kümesi içindeki bazı özellikler ilişkili olmayabilir ve bazıları da modeli temsil etmeyebilir. İlişkisiz olan bu özellikler, kullanılması düşünülen sınıflandırıcının sınıflandırma başarısını negatif yönde etkiler. Özellik seçme aşamasında istenmeyen özelliklerin atılıp daha iyi bir özellik alt kümesi elde edilmesi amaçlanır (Çıra, 2017).

### 2.2.1. Dalgacık Dönüşümü (Wavelet Transform WT)

WT, bir sinyalin zaman-frekans incelemesi için kullanılan bir dönüşümdür. WT iki ana kategoriye ayrılır, sürekli dalgacık dönüşümü ve ayrık dalgacık dönüşümü (Arashloo ve ark., 2013). WT dalgacıklar yardımı ile yapılmaktadır. WT’de ana dalgacık pencere görevini üstlenir ve bu ana dalgacık hem ölçeklenir hem de ötelenir. WT’de pencere fonksiyonunun genişliği sürekli değiştiğinden, zaman ve frekans domeninde çözünürlük değeri yükselmektedir, bu WT’nin Fourier dönüşümünden daha iyi olduğu noktalardan biridir. WT zaman-ölçek alanını kullanır. Şekil 3’te WT’de ölçek-zaman alanı görülmektedir (Altay, 2010).



Şekil 3: Dalgacık analizinde ölçek-zaman alanı (Altay, 2010).

WT'nin en önemli parametresi dalgacıktır. Bir fonksiyonun süresi sınırlı ve ortalama değeri sıfır ise dalgacık olabilir. Dalga ve dalgacık farklı kavramlardır. Dalgacık terimi, küçük dalga anlamında kullanılır (Öner ve ark., 2017).

Daha önce yapılan bir çalışmada (Kim ve Parlos, 2002), geçici tepki tahmini için tekrarlayan dinamik sinir ağları ve durağan olmayan sinyal özelliği çıkarma için çok çözünürlüklü sinyal işleme kullanan endüksiyon motorları için model tabanlı bir arıza teşhis sistemi geliştirilmiştir. Önerilen teşhis sistemi, ölçülen motor terminal akımları ve voltajları ile motor hızını kullanır. Teşhis sisteminin etkinliği, elektriksel ve mekanik motor arızaları ile gösterilmiştir. Geliştirilen sistem farklı güç değerlerindeki motorlardan elde edilen verilerle başarıyla çalıştırılmıştır.

### **2.3. Hatanın Sınıflandırılması**

Elektrik motorunun izlenmesi sonucunda elde edilen hata verisi ile oluşan arıza sınıflandırılmalıdır. Elektrik motorlarından elde edilen verilerle motorlardaki arızanın sınıflandırılmasında bulanık mantık ve yapay sinir ağları (YSA) kullanılabilir (Ayaz, 2002).

#### **2.3.1. Bulanık Mantık**

Bulanık mantık, insanın düşünme tarzı temel alınarak tasarlanmıştır. Matematiksel modeli belli olmayan yada lineer matematiksel modeli oluşturulamayan sistemlerde daha etkili olduğu söylenebilir. Bulanık mantıkta problem üç aşamada çözülür:

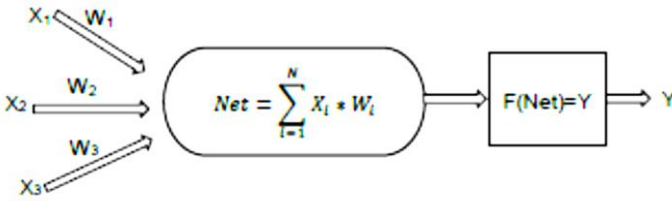
1. Bulanıklaştırma
2. Çıkarım mekanizması
3. Durulandırma.

İlk aşamada denetlenecek sistemin parametreleri ölçülerek girişler bulanıklaştırılır. İkinci aşamada belirli kurallara göre denetlenecek sistemin bulanık değerleri çıkarılır. Üçüncü aşamada bulanık çıkış değerlerine durulandırma işlemi yapılır.

Daha önce yapılan bir çalışmada (Aydın ve ark., 2009b), asenkron motorlardaki rotor ve stator arızalarının tespiti için bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem aynı anda gerçekleşen iki arızayı tespit edebilmektedir. Motorun akım sinyalleri, MCSA ile spektrum alanına dönüştürülmüştür. Daha önceki adımda oluşabilecek hatanın tespiti için çıkışlardan biri girişe verilmiştir. Bu giriş, motorun performansındaki farklılığın geçici mi yoksa bir arıza mı olduğunu tespit etmek için kullanılmıştır.

### 2.3.2. Yapay Sinir Ağları (YSA)

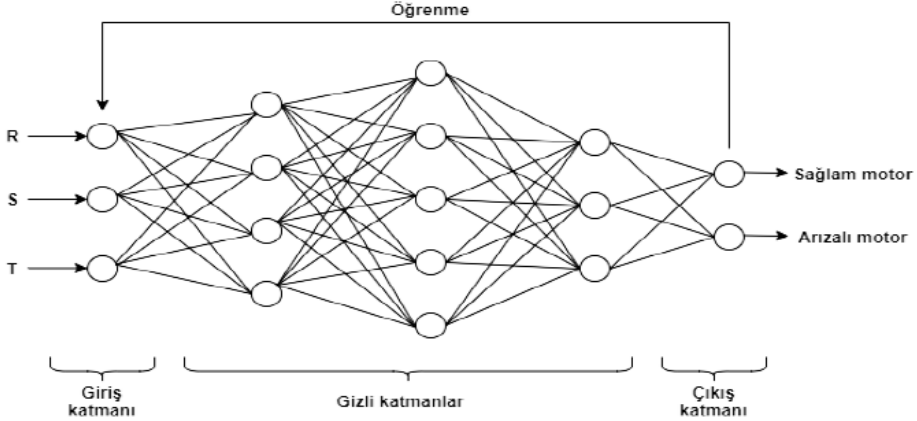
YSA, insan beyninin çalışmasından esinlenilerek ortaya atılmıştır. İlk kez 1943 yılında yapılmıştır. YSA da amaç, insan beyin hücrelerinin matematiksel modellenmesi yapılarak, bir bilgisayar sistemine benzetmeye çalışmaktır. Bir insanın öğrenmesi sinapsların bağlantılarıyla oluşur. Şekil 4'de bir sinir hücresinin modeli görülmektedir (Doğan ve Türkoğlu, 2019).



**Şekil 4:** Bir Sinir Hücresinin Modeli (Doğan ve Türkoğlu, 2019).

YSA yapılarına göre ileri ve geri beslemeli olarak ikiye ayrılabilir. İleri beslemeli ağlarda katmanlar arasındaki giriş verileri, çıkışa doğru tek yönlüdür. Katmanlar şeklindeki nöronların çıkışları, sonraki katmandaki nöronlara düzenleme yapılarak giriş olarak verilir. Giriş katmanına giren veriler orta ve çıkış katmanlarında işlenir ve en son çıkış olarak elde edilir. İleri beslemeli ağlar, kontrol ve sınıflandırma uygulamalarında daha çok kullanılırlar. Geri beslemeli YSA da ise orta ve çıkış katmanlarından önceki katmanlara geri besleme bağlantıları bulunur. Burada bağlantılar sadece ileri yönde değil geri besleme bağlantıları nedeniyle ileri ve geri yönde oluşabilirler. Çıkışlar hem o anki çıkışı hem de bir sonraki çıkışı etkiler. Geri beslemeli ağlar, tahmin gerektiren uygulamalar için daha çok kullanılır (Şimşir, 2016).

Şekil 5’de bir elektrik motorunun arızasının tespiti ve sınıflandırmasında kullanılan geri beslemeli (backpropagation) çok katmanlı YSA’nın yapısı verilmiştir (Kaya ve Ünsal, 2022).



Şekil 5: Geri beslemeli çok katmanlı YSA’nın yapısı (Kaya ve Ünsal, 2022).

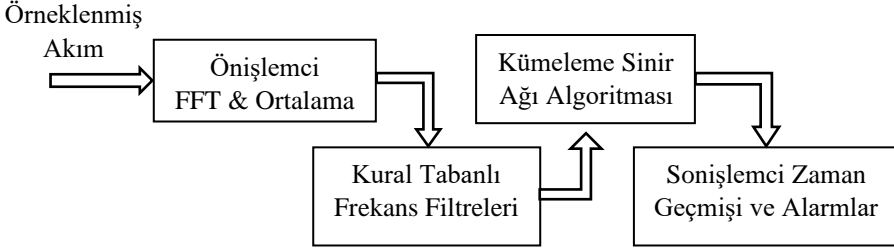
Elektrik motorlarının akım, gerilim ve diğer parametrelerinden elde edilen veriler, motor arızalarını sınıflandırmak için kullanılabilir. Bu sınıflandırmalar çeşitli yapay zeka teknikleri kullanılarak yapılabilir. Daha önce yapılan çalışmalarda motor arızası sınıflandırılmasında Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Network ANN), Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (Multi Layer Perceptions MLP), Destek Vektör Makinası (Support Vector Machine SVM), k-En Yakın Komşuluk (k-Nearest Neighbor KNN), Karar Ağacı (Decision Tree DT), Rastgele Orman (Random Forest RF), Fuzzy Inference, Fuzzy-Neuro Network, Gaussian Process Regression (GPR) ve Derin Öğrenme (Deep Learning DL) gibi bir çok teknik kullanılmıştır (Wang ve ark., 2022; Huang ve ark., 2018; Minaz, 2020; Pandarakone ve ark., 2019).

Makine öğrenmesinin (Machine Learning ML) amacı, makinelerin insanların verdiği kararlara benzer karar vermesi ve analizler yapmasıdır. ML genelde denetimli, denimsiz ve takviyeli olarak üçe ayrılabilir. ML girişte verilen verilere göre çıkışı tahmin eden algoritmik bir yaklaşımdır. Derin öğrenme (Deep Learning DL) ise makine öğrenmesinin bir alt dalıdır ve çok katmanlı sinir ağı modelidir. DL algoritmaları; yüz tanıma, ses tanıma, metin ve karakter tanıma, nesne tanıma, otonom sistemler, görüntü işleme, doğal dil işleme, savunma ve güvenlik, medikal sektör, tahmin uygulamaları,

sınıflandırma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. DL 2012 yılında görsel tespit yarışmasındaki başarısından sonra popüler olmuştur. DL'in başarısı eğitimde kullanılan veri setinin büyüklüğüne bağlıdır. Çözülecek problemin yapısına göre mimari seçimi yapılır. En çok kullanılan DL mimarisi Evrişimli Sinir Ağı (Convolutional Neural Network CNN) dir ve çok katmanlı ileri yönlü bir YSA dır. Büyük ağlarda daha az eğitime ve daha az parametreye ihtiyaç duyması avantajlarından biridir. DL mimarilerinden birisi olan Tekrarlayan Sinir Ağı (Recurrent Neural Network RNN) diğer mimarilerden farklıdır. Zaman değişkenine bağlı olarak sıralı bilgileri kullanır. (Somuncu ve Atasoy, 2022). Ayrıca RNN'in bir çeşidi olan Uzun Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory LSTM) ağı, ardışık verilerdeki uzun vadeli bağımlılıkları yakalama yeteneği nedeniyle Yapay Zeka (Artificial Intelligence AI) dünyasında büyük bir başarıya sahiptir (Joseph ve Bindiya, 2023).

Tek Katmanlı Algılayıcılar (Single Layer Perceptron SLP) nonlinear problemlerin çözümünde yeteri kadar başarı sağlayamadığından, Çok Katmanlı Algılayıcılar (Multi-Layer Perceptron MLP) geliştirilmiştir. MLP üç katmandan oluşur. Bunlar; giriş, gizli ve çıkış katmanlarıdır. Tek katmanlı algılayıcının aksine nonlinear sınıflandırma yapılabilir. Çözülecek probleme göre, gizli katmanların sayısı değişebilir. Veri seti genellikle iki kısma bölünür. Bunlar eğitim ve test veri setidir. Eğitim veri seti, ağıdaki ağırlıkları hesaplamak için, test veri seti ise bulunan ağırlıkların doğruluğunu modeli eğitirken kullanılmayan verilerle test etmek için kullanılır. Çok katmanlı algılayıcılar, ileri besleme ve geri yayılım algoritmasıyla çalışırlar. Geri yayılımın ilk adımında, değişkenler ağı girilir. Her bir değişkene ait her bir nörona bir ağırlık değeri atanır, bu değerler ağırlıklar ile çarpılıp toplanır, bias değeri eklenir ve sonraki katmandaki tüm nöronlara gönderilir. Bu değerler, çıkıştaki nöronlar için giriş değerleridir. Çıkışta da benzer işlemler yapıldıktan sonra bir çıkış değeri elde edilir, çıkış ile gerçek değer karşılaştırılır ve hata elde edilir (Ser ve Bati, 2019).





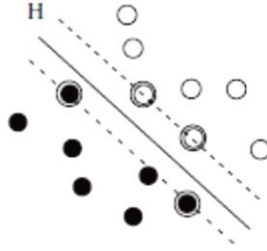
Şekil 6: ANN tabanlı arıza teşhisi (Nandi ve ark., 2005).

ANN, bulanık veya nöro-bulanık sistemler artık hem doğru akım hem de alternatif akım makinelerinin hız, tork tahmini ve tahrik kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar, motor akımı ile hız arasındaki ilişkilerin doğrusal olmadığı AC makinelerin uygulamaları için çok uygundur. AI teknikleri makinelerin durum izleme ve arıza tespiti için MCSA sonuçlarına bir karar verme aracı olarak kullanılabilir. Stator akım spektrumlarını kullanan ANN tabanlı bir arıza teşhis sistemi Şekil 6' da gösterilmektedir. Ön işlemci, örneklenen akım verilerinin frekans bileşenlerini çıkarır. Kural tabanlı frekans filtreleri kullanılarak, bu frekans bileşenleri azalan önem düzeyine sahip dört kategoriye sınıflandırılır. Bu kurallara dayanarak, makinenin tüm olası çalışma koşulları için eğitilmiş bir sinir ağı, gelen verileri sınıflandırmak için kullanılır. Eğitilen kümelerin dışına düşen bir spektral imza, olası bir motor arızası olarak işaretlenir. Yanlış teşhisi önlemek için, son işlemci yalnızca arıza imzaları sürekli olarak gözlemlendiğinde bir sinyal gönderir. Bu işlev, izlenen motorun zaman geçmişinin tutulmasıyla gerçekleştirilir. Böyle bir sistem, endüksiyon motorlarının yatak ve dengesiz rotor arızalarını teşhis etmek için başarıyla uygulanmaktadır (Nandi ve ark., 2005).

### 2.3.2.1. Destek Vektör Makinası (Support Vector Machine SVM)

SVM'ler istatistiksel teoriye dayalı nispeten yeni bir öğrenme yöntemidir ve temel fikir, Şekil 7'de gösterildiği gibi, 2 boyutlu bir durumda optimum bir hiper düzlem oluşturmaktır. Şekil 7, iki farklı sınıf için bir dizi noktayı göstermektedir: A sınıfı için siyah noktalar ve B sınıfı için beyaz daireler. SVM'ler, iki farklı sınıf arasında doğrusal bir sınır yerleştirmeye ve

bunu noktalı çizgiyle gösterilen kenar boşluğunun en üst düzeye çıkarılacağı şekilde yönlendirmeye çalışır. Dahası, SVM'ler, her sınıftaki sınır ile en yakın veri noktası arasındaki mesafenin en üst düzeye çıkarılacağı şekilde sınırı yönlendirmeye çalışır. Daha sonra, H gibi bir sınır, bu kenar boşluğunun ortasına ve iki nokta arasına yerleştirilir. Kenar boşluğunu tanımlamak için kullanılan en yakın veri noktalarına destek vektörleri denir ve dairelerle yeniden gösterilir. Destek vektörleri seçildiğinde, veri özellik kümesinin geri kalanı gerekli değildir çünkü destek vektörleri sınıflandırıcıyı tanımlamak için gereken tüm temel bilgileri içerebilir (Xue ve ark., 2013).



Şekil 7: En uygun hiper düzlem (Xue ve ark., 2013).

### 3. SONUÇ

Elektrik motorları hemen hemen her alanda kullanılmaktadır. Elektrik motorları içeren sistemlerde en önemli bileşen elektrik motorlarıdır. Elektrik motorlarının arızalanması durumunda sistem durmakta ve üretim aksamaktadır. Bunun sonucunda da ek masraflar oluşarak maliyetler artmaktadır. Son yıllarda geliştirilen teknikler sayesinde elektrik motorları tamamen arızalanmadan, motor arızaları tespit edilebilmektedir. Motor tamamen arızalanmadan arızalar tespit edildiğinde, tehlikeli durumların önüne geçilebilmektedir. Elektrik motorlarının arızalarının tespitinde yapay zeka tabanlı teşhis sistemleri öne çıkmaktadır. Yapay zeka tabanlı arıza teşhis sistemlerinin başarı oranları her geçen gün daha da artmaktadır. Arıza teşhis sistemleri sayesinde sistemler daha güvenli ve daha ekonomik olmaktadır.

## **KAYNAKÇA**

- Akar, M., Fenercioğlu, A., & Soyaslan, M. (2011). Asenkron Motorlarda Rotor Çubuğu Kırık Arızasının Elektromanyetik Tork ile Tespiti. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) (pp. 142-146).
- Altay, Ö. (2010). Dalgacık Analizi ile Yüksek Gerilim Aygıtlarından Alınan İşaretlerin Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Arashloo, R. S., Martinez, J. L. R., & Salehifar, M. (2013). A Novel Broken Rotor Bar Fault Detection Method Using Park's Transform and Wavelet Decomposition. In 2013 9th IEEE International Symposium on Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives (SDEMPED) (pp. 412-419). IEEE.
- Ayaz, E. (2002). Elektrik Motorlarında Dalgacık Analizi Yaklaşımı ile Rulman Arıza Tanısı ve Yapay Zeka Tabanlı Bir Durum İzleme Sistemi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, İ., Karaköse, M., & Akın, E. (2009a). Kırık Rotor Çubuğu ve Stator Arızalarının Teşhisinde Yapay Sinir Ağı Yaklaşımı. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(1), 134-149.
- Aydın, İ., Karaköse, M., & Akın, E. (2009b). Negatif Seçim Tabanlı Bulanık Arıza Teşhis Modeli. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(4), 745-753.
- Benbouzid, M. E. H. (2000). A Review of Induction Motors Signature Analysis as a Medium for Faults Detection. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 47(5), 984-993.
- Çıra, F. (2017). Sürekli Mıknatıslı Senkron Motorun Stator Kısa Devre Arızasının Tespiti ve Arıza Şiddetinin Otomatik Olarak Belirlenmesi. Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Doğan, F., & Türkoğlu, İ. (2019). Derin Öğrenme Modelleri ve Uygulama Alanlarına İlişkin Bir Derleme. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, 10(2), 409-445.
- Erbahan, O. Z., & Alışkan, İ. (2019). Sincap Kafesli Asenkron Motorların Rotor Çubuk Kırıklarının Akustik Ölçümlerle Tespiti. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 7(3), 935-950.
- Ertarğın, M., Yıldırım, Ö., & Orhan, A. (2023). Motor Yataklarında Meydana Gelen Arızaları Tespit Etmek için Yeni Bir Tek Boyutlu

- Konvolüsyonel Sinir Ağı Modeli. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 35(2), 669-678.
- Huang, R., Liao, Y., Zhang, S., & Li, W. (2018). Deep Decoupling Convolutional Neural Network for Intelligent Compound Fault Diagnosis. *Ieee Access*, 7, 1848-1858.
- Joseph, T., & Bindiya, T. S. (2023). Realization and Hardware Implementation of Gating Units for Long Short Term Memory Network using Hyperbolic Sine Functions. *IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems*, 42(12), 5141-5145.
- Kaya, K., & Ünsal, A. (2022). Yapay Sinir Ağlarıyla Asenkron Motor Çoklu Arızalarının Tespiti ve Sınıflandırılması. *Politeknik Dergisi*, 25(4), 1687-1699.
- Kim, K., & Parlos, A. G. (2002). Induction Motor Fault Diagnosis Based on Neuropredictors and Wavelet Signal Processing. *IEEE/ASME Transactions on mechatronics*, 7(2), 201-219.
- Koca, Y. B., & Ünsal, A. (2017). Asenkron Motorların Elektriksel ve Mekanik Arızalarının Değerlendirilmesi. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi*, 7(2), 37-46.
- Kuş, M. (2019). Asenkron Motorlarda Kırık Rotor Çubuk Arızasının Vibrasyon Sinyali ile Tespiti. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 4(2), 36-43.
- Majdi, H. S., Shijer, S. S., Hanfesh, A. O., Habeeb, L. J., & Sabry, A. H. (2021). Analysis of Fault Diagnosis of Dc Motors by Power Consumption Pattern Recognition. *European Journal of Enterprise Technologies*, 5(5), 113, 14-20.
- Mehala, N., & Dahiya, R. (2007). Motor Current Signature Analysis and Its Applications in Induction Motor Fault Diagnosis. *International journal of systems applications, engineering & development*, 2(1), 29-35.
- Minaz, M. R. (2020). Fırçasız DC Motorunun Eksen Kaçıklığı ve Kırık Mıknatıs Arızalarının Tespitinin Bilgisayar Benzetimi ile Yapılması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 846-861.
- Nandi, S., Toliyat, H. A., & Li, X. (2005). Condition Monitoring and Fault Diagnosis of Electrical Motors—A Review. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20(4), 719-729.

- Öner, İ. V., Yeşilyurt, M. K., & Yılmaz, E. Ç. (2017). Wavelet Analiz Tekniği ve Uygulama Alanları. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7(1), 42-56.
- Pandarakone, S. E., Mizuno, Y., & Nakamura, H. (2019). A Comparative Study between Machine Learning Algorithm and Artificial Intelligence Neural Network in Detecting Minor Bearing Fault of Induction Motors. *Energies*, 12(11), 2105.
- Ser, G., & Bati, C. T. (2019). Derin Sinir Ağları ile En İyi Modelin Belirlenmesi: Mantar Verileri Üzerine Keras Uygulaması. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Tarım Bilimleri Dergisi*, 29(3), 406-417.
- Somuncu, E., & Atasoy, N. A. (2022). Realization of Character Recognition Application on Text Images by Convolutional Neural Network. *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ*, 37(1), 17-27.
- Şenol, M. (2008). Asenkron Motorlarda Oluşan Arızaların Modellenmesi ve Analizi (Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Şimşir, M. (2016). Tekerlek İçeri Elektrik Motorlarında Yapay Zeka Tabanlı Arıza Teşhisi. *Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Ünsal, A., & Karakaya, O. (2015). Asenkron Motor Rotor Arızalarının Analizi. *Journal of Science and Technology of Dumlupınar University*, (34), 69-86.
- Vishwakarma, M., Purohit, R., Harshlata, V., & Rajput, P. (2017). Vibration Analysis & Condition Monitoring for Rotating Machines: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 4(2017), 2659-2664.
- Wang, Y., Xiao, Z., & Cao, G. (2022). A Convolutional Neural Network Method Based on Adam Optimizer with Power-Exponential Learning Rate for Bearing Fault Diagnosis. *Journal of Vibroengineering*, 24(4), 666-678.
- Xue, H., Wang, H., Chen, P., Li, K., & Song, L. (2013). Automatic Diagnosis Method for Structural Fault of Rotating Machinery Based on Distinctive Frequency Components and Support Vector Machines Under Varied Operating Conditions. *Neurocomputing*, 116, 326-335.
- Yeh, C. C., Sizov, G. Y., Sayed-Ahmed, A., Demerdash, N. A., Povinelli, R. J., Yaz, E. E., & Ionel, D. M. (2008). A Reconfigurable Motor for Experimental Emulation of Stator Winding Interturn and Broken Bar Faults in Polyphase Induction Machines. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23(4), 1005-1014.

## **BÖLÜM 6**

### **EGE DENİZİ İÇİN SABİT VE YÜZER RÜZGÂR TÜRBİNİ TİPLERİNİN BELİRLENMESİ: ÖN ARAŞTIRMA**

Yük. Müh. Güven NERGİZ<sup>1</sup>

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556487>

---

<sup>1</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova - 35330 İzmir, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-0415-0431 (guvennergiz@gmail.com, +90 506 5002593)

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, Balçova - 35330 İzmir, Türkiye.

ORCID NO: 0000-0002-9681-680X (turgut.gursel@deu.edu.tr, +90 536 544 2802)



## GİRİŞ

Rüzgâr enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Karasal rüzgâr türbinlerinin kurulu gücü dünya genelinde 944 GW'a ulaşmıştır (Communication, 2024). Ancak, rüzgar enerjisi açısından elverişli olan karasal alanların sınırlı olması ve sürekli artan enerji talebi, kıyı ve açık deniz rüzgâr türbinlerine olan ihtiyacı artırmaktadır. Kıyı ve açık deniz rüzgâr türbinleri, daha güçlü ve sürekli rüzgâr akışlarından yararlanarak daha yüksek enerji verimliliği sağlamaktadır. Özellikle açık deniz türbinleri, karasal engellerin olmaması sebebiyle daha stabil ve yüksek enerji üretim kapasitesine sahiptir. Deniz üstü rüzgâr santrallerinin (DRES) kuruluşu, özellikle su derinliği, deniz tabanı yapısı ve hava koşulları gibi faktörlerden dolayı teknik ve ekonomik zorluklar içermektedir. Sabit tabanlı türbinler genellikle 50 metreye kadar olan derinliklerde kullanılırken, daha derin sular için yüzer türbinler tercih edilmektedir. Kuşkusuz yüzer türbinler, su derinliğinden bağımsız olarak daha geniş alanlarda enerji üretimine imkân tanımaktadır. Ancak, yüzer türbinlerin maliyeti ve teknolojik zorlukları, sabit tabanlı türbinlere kıyasla daha yüksektir.

Avrupa ülkeleri elektrik üretimindeki en büyük payın 2040 yılında DRES projelerinden olacağını hedeflemektedir. Türkiye de bu hedefe katılarak, 2035 yılına kadar 5 GW deniz üstü rüzgâr enerjisi kapasitesine ulaşmayı hedeflemektedir (Türkiye, 2022). Ege kıyıları, rüzgâr hızı ve sürekliliği bakımından Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli en yüksek bölgelerinden biridir. Ege Denizi'nde yapılacak rüzgâr türbini yatırımları, ülkenin enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşması açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, Ege Denizi'ne uygun türbin tiplerinin belirlenmesi, türbinlerin performansı ve ömrü açısından büyük önem taşımaktadır. Yapılan literatür taramaları, Ege Denizi için en verimli rüzgâr türbini tiplerinin belirlenmesi hususunda önemli veriler sunmaktadır. Ege kıyılarının jeolojik, meteorolojik ve oşinografik özellikleri göz önünde bulundurularak, uygun türbin tiplerinin seçilmesi, enerji üretim verimliliğini artıracak ve yatırım maliyetlerini optimize edecektir.

Bu çalışma, Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisi hedeflerine ulaşması için gerekli stratejiler doğrultusunda deniz üstü rüzgâr türbinlerinin henüz test



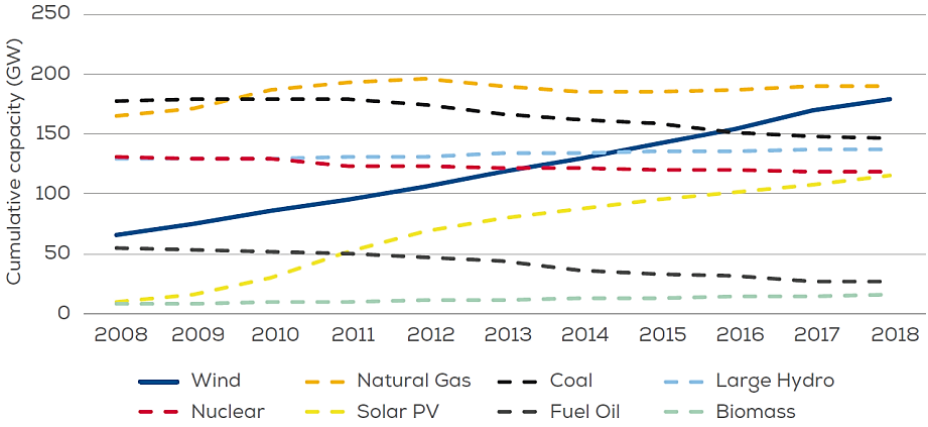
aşamasına geçmeden simülasyon ortamında optimize edilerek geliştirilmesi konusundaki araştırmaları ortaya koymaktadır. Araştırmanın devamında özellikle Türkiye'nin Ege Denizi kıyılarında yüksek verimlilik gösterecek sabit ve yüzer tabanlı rüzgâr türbinlerinin belirlenmesi için gerekli verilerin edinilmesi, yöntem ve metotların ortaya konması ve parametrik hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) simülasyon çalışmalarının tamamlanması hedeflenmektedir.

## **1. RÜZGÂR TÜRBİNLERİNİN TEMEL KARAKTERİSTİKLERİ**

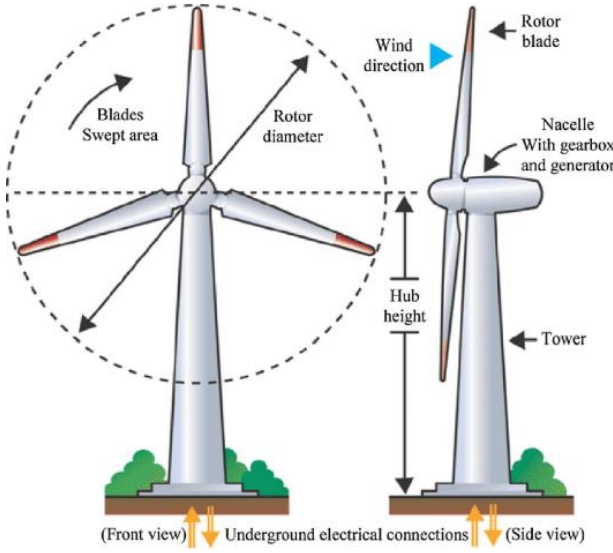
Rüzgâr enerjisi, küresel ölçekte enerji üretiminde giderek daha fazla önem kazanan yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak öne çıkmıştır. Özellikle son yıllarda çevresel sürdürülebilirlik, fosil yakıt rezervlerinin tükenmesi ve iklim değişikliği ile ilgili artan endişeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi önemli ölçüde artırmıştır. Bu bağlamda, rüzgâr enerjisi hem karasal hem de deniz üstü uygulamalarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Rüzgâr enerjisinin diğer enerji türlerine göre kullanım oranının artmasının birkaç temel nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, teknolojik ilerlemeler sayesinde rüzgâr türbinlerinin verimliliği artmış, bu da enerji üretim maliyetlerini önemli ölçüde düşürmüştür. Aynı zamanda, hükümetler ve uluslararası kuruluşlar, temiz enerjiye geçişi teşvik etmek amacıyla çeşitli politikalar ve finansal teşvikler sunmaktadır. Bu teşvikler, rüzgâr enerjisi yatırımlarını cazip hale getirmiş ve sektörün büyümesini hızlandırmıştır. Dünya genelinde enerji üretimi içinde rüzgâr enerjisinin payı, son yıllarda önemli bir artış göstermiştir. Bu hızlı artışın en önemli sebepleri arasında, teknolojik gelişmelerin yanı sıra rüzgâr enerjisinin maliyet açısından rekabetçi hale gelmesi ve çevresel kaygıların daha fazla ön plana çıkması bulunmaktadır. Şekil 1'de Avrupa'da yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı, 2008-2018 yılları arasındaki kurulu güç değişimi gösterilmektedir. Özellikle rüzgâr enerjisindeki etkili artış gelecekte rüzgâr enerjisinden daha da fazla yararlanılacağını ve bu yöndeki çalışmaların hızlanacağını işaret etmektedir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi, rüzgâr türbinleri aracılığıyla gerçekleştirilir (Şekil 2). Rüzgâr, türbinin kanatlarına çarparak onları döndürür ve bu dönme hareketi türbinin rotoruna iletilir. Rotor, rüzgârın

kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür ve bu enerji, türbin mili aracılığıyla bir elektrik jeneratörüne aktarılır. Jeneratör, bu mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Üretilen elektrik, transformatörler aracılığıyla voltajı yükseltilecek ve frekansı düzenlenerek elektrik şebekesine iletilir ve dağıtım hatları üzerinden konut ve iş yerlerine ulaştırılır. Modern türbinler, rüzgârın hızını ve yönünü optimize eden kontrol sistemleriyle donatılmıştır ve gerektiğinde enerji depolama sistemleriyle birlikte çalışabilir (Terzioğlu vd., 2019).



**Şekil 1:** 2018 Yılına kadar Avrupa'da kurulu güç kapasitesine göre yenilenebilir enerji kaynakları (Komusanac vd., 2019)



**Şekil 2:** Rüzgâr türbininin temel bileşenleri (Aminzadeh vd., 2023)

Üretilecek enerjinin büyüklüğü, rüzgâr hızına ve türbinin kanatlarının tarama alanına doğrudan bağlıdır. Rüzgâr türbinlerinden elde edilen güç, rüzgâr hızının küpüyle doğru orantılı olarak artar; yani, rüzgâr hızı iki katına çıktığında, üretilen enerji sekiz kat artar (Denklem 1). Bu nedenle, rüzgâr hızının yüksek olduğu alanlarda daha fazla enerji üretmek mümkündür. Ayrıca, türbinin kanat uzunluğu da enerji üretiminde kritik bir rol oynar. Kanatların tarama alanı, kanat uzunluğunun karesiyle orantılı olarak artar ve daha büyük bir tarama alanı, daha fazla rüzgârın türbinin kanatlarıyla etkileşime girmesini sağlar, dolayısıyla enerji üretimini artırır. Bu nedenle, rüzgâr hızının yüksek olduğu bölgelerde ve büyük tarama alanına sahip türbinler kullanıldığında, rüzgâr enerjisinden elde edilecek elektrik miktarı önemli ölçüde artar. Bu faktörler, rüzgâr enerjisinin verimliliğini ve ekonomik açıdan çekiciliğini belirlemede temel unsurlardır.

$$P = \frac{1}{2} \rho A U_{\infty}^3 C_p \quad (1)$$

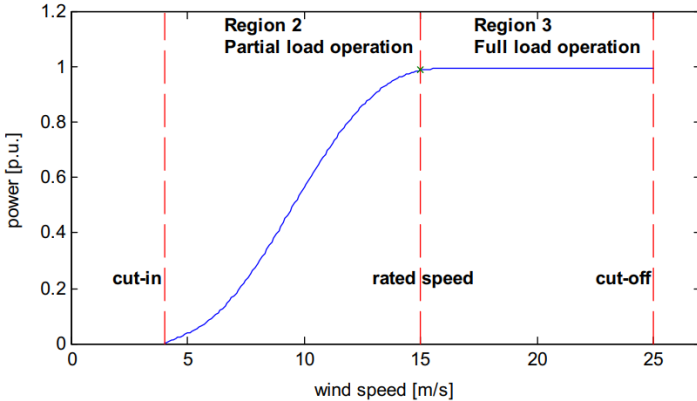
Burada,

P: Güç (Watt)

- $\rho$ : Havanın yoğunluğu (kg/m<sup>3</sup>)  
 $A$ : Rotor disk alanı (m<sup>2</sup>)  
 $U_{\infty}$ : Rüzgâr hızı (m/s)  
 $C_p$ : Güç katsayısı ( $C_p < 0,593$  Betz limiti)

olarak ifade edilir.

Rüzgâr türbinleri, belirli bir rüzgâr hızı aralığında enerji üretebilir (Şekil 3). Bu aralığın dışında kalan hızlarda enerji üretimi ya mümkün değildir ya da güvenlik gerekçesiyle türbinler durdurulur. Rüzgâr türbinlerinin enerji üretmeye başladığı en düşük rüzgâr hızına "cut-in hızı" denir. Genellikle 3-4 m/s civarında olan bu hızın altında, türbin enerji üretmez, çünkü rüzgârın gücü kanatları döndürmek için yeterli değildir. Rüzgâr hızı arttıkça türbinin enerji üretimi de artar ve "rated speed" olarak adlandırılan nominal hıza ulaşıldığında türbin maksimum kapasitesinde çalışır. Bu hız genellikle 12-15 m/s civarındadır. Bu noktada, türbinin ürettiği enerji miktarı sabit kalır ve rüzgâr hızı artsa bile çıkış gücü daha fazla artmaz. Ancak rüzgâr hızı daha da artarsa ve genellikle 25 m/s civarındaki bir eşik olan "cut-off hızı" aşılsa türbin güvenlik amacıyla otomatik olarak durdurulur. Bu, türbinin aşırı rüzgâr nedeniyle mekanik olarak zarar görmesini engellemek için tasarlanmış bir güvenlik önlemidir.



**Şekil 3:** Rüzgâr türbinini için rüzgâr hızı ile enerji çıkışı karakteristiği (Hall vd., 2010)

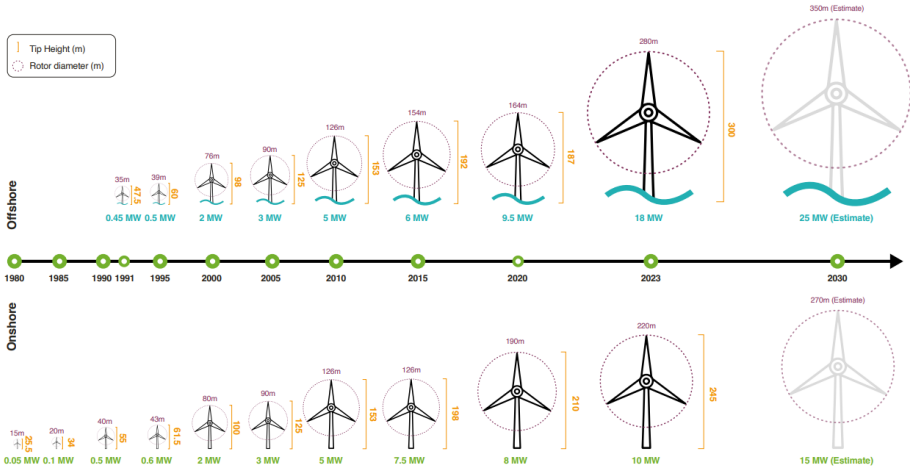
Rüzgâr hızının belirli bir aralıkta stabil olması, yani "kaliteli rüzgâr" koşulları, rüzgâr türbinlerinden enerji üretimi açısından oldukça önemlidir. Kaliteli rüzgâr, türbinin kesintisiz ve verimli şekilde çalışmasını sağlar. Rüzgâr hızının sürekli olarak

belirli bir aralıkta kalması, türbinin optimum performansla enerji üretmesine olanak tanır. Eğer rüzgâr hızı cut-in hızının altında kalırsa türbin durur ve enerji üretimi gerçekleşmez, cut-off hızının üzerine çıkarsa türbin aşırı hızdan dolayı güvenlik amacıyla kapatılır. Bu nedenle, rüzgârın belirli hız aralıklarında stabil olması, enerji üretiminde sürekliliği ve verimliliği sağlar. Ayrıca, stabil rüzgâr koşulları türbinin mekanik aksamının daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Ani rüzgâr değişimleri, türbin üzerindeki mekanik geilmeleri artırır ve bu durum da daha sık bakım gereksinimine yol açar. Kaliteli rüzgâr, türbinin mukavemet açısından daha az zorlanarak çalışmasına yardımcı olur ve bu da bakım maliyetlerini düşürür. Aynı zamanda, sürekli ve istikrarlı enerji üretimi sayesinde, birim başına düşen enerji üretim maliyeti azalır, bu da rüzgâr enerjisinin daha ekonomik hale gelmesini sağlar. Rüzgâr hızının belirli bir aralıkta stabil olması, türbinlerin daha verimli çalışmasını, bakım maliyetlerinin azalmasını ve enerji üretim maliyetlerinin düşmesini sağlarken kapasite faktörünü etkili oranda yükseltir (Ünal vd., 2024).

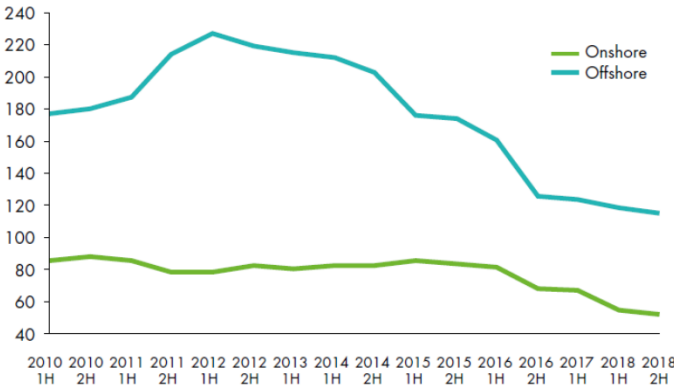
Kara üstü ve deniz üstü rüzgâr türbinlerinin avantajları ve dezavantajları, kurulum yerlerine ve çevresel koşullara bağlı olarak farklılık gösterir. Kara üstü rüzgâr türbinleri, daha düşük kurulum ve bakım maliyetlerine sahip olmaları nedeniyle avantajlıdır. Kara üstü türbinler, uzun süredir kullanılan bir teknolojiye sahip oldukları için daha fazla teknik bilgi birikimi ve gelişmiş teknoloji sunar. Bununla birlikte, kara üstü türbinler genellikle daha az rüzgâr potansiyeline sahip bölgelerde bulunur ve bu da enerji üretimini sınırlayabilir. Çünkü karada arazi etkisi oldukça fazladır. Kaliteli rüzgâr bölgesine erişebilmek için türbinlerin hem daha yüksek bölgelere kurulması hem de kule boylarının uzatılması gerekir. Ayrıca, bu türbinler bölge halkı için görünüm ve gürültü kirliliği yaratabilir ve geniş arazilere ihtiyaç duyduklarından, arazi kullanımı konusunda sorunlar oluşturabilir.

Deniz üstü rüzgâr türbinleri ise genellikle daha yüksek ve sabit rüzgâr hızlarına sahip oldukları için daha fazla enerji üretebilirler. Çünkü deniz yüzeyinin pürüzlülüğü karaya göre oldukça düşüktür. Bu da kaliteli rüzgâr bölgesine daha düşük yüksekliklerde erişilmesine olanak sağlar. Deniz üstü türbinler, karasal türbinlerden daha büyük yapılabilir, bu da her bir türbinin daha fazla enerji üretebilmesi anlamına gelir. Ayrıca, deniz üstü türbinler karadan uzakta oldukları için görünüm ve gürültü kirliliği sorunları bölge halkı için minimize edilir ve arazi kullanım sorunları ortadan kalkar. Ancak, deniz üstü türbinlerin kurulum ve bakım maliyetleri çok daha yüksektir. Deniz koşulları, bu işlemleri zorlaştırır ve maliyetleri artırır. Deniz üstü türbinlere erişim zor ve maliyetli olduğu için bakım ve onarım işlemleri daha karmaşık hale gelir. Ayrıca, deniz yaşamı ve ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilirler ve denizel koşullara dayanıklı olmaları gerektiği için teknolojik zorluklar da daha fazladır. Çevresel etkilerin optimize edilebileceği düşünüldüğünde,

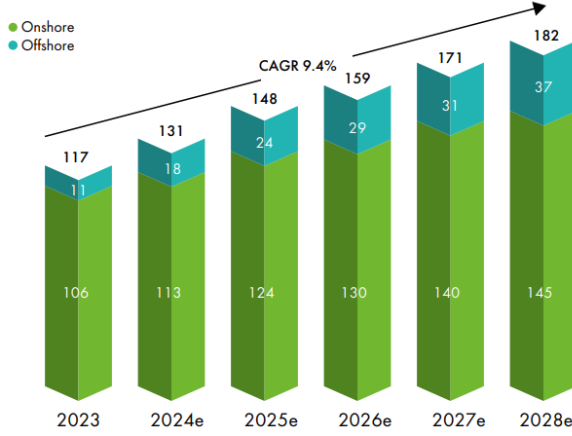
aynı duruma sahip kara üstü türbinler düşük maliyetleri ve erişim kolaylıklarıyla öne çıkarken, deniz üstü türbinler daha yüksek rüzgâr potansiyeli ve enerji üretim kapasitesi sunar (Şentürk ve Oğuz, 2020). Yapılan çalışmalar ve gelişen teknolojiyle birlikte indirgenmiş maliyetlerin düşüşte olması, ortam avantajı sayesinde daha büyük yapılabilen (Şekil 4) ve daha fazla enerji üretebilen (Denklem 1), böylece birim enerji başına düşen maliyetleri oldukça azalmakta olan (Şekil 5) deniz üstü rüzgâr türbinlerinin gelecek yıllarda daha da artarak yaygınlaşması istatistiksel olarak doğrulanmaktadır (Şekil 6).



Şekil 4: Kara üstü ve deniz üstü rüzgâr türbin büyüklükleri, 1980-2030 (Lee and Zhao 2024)



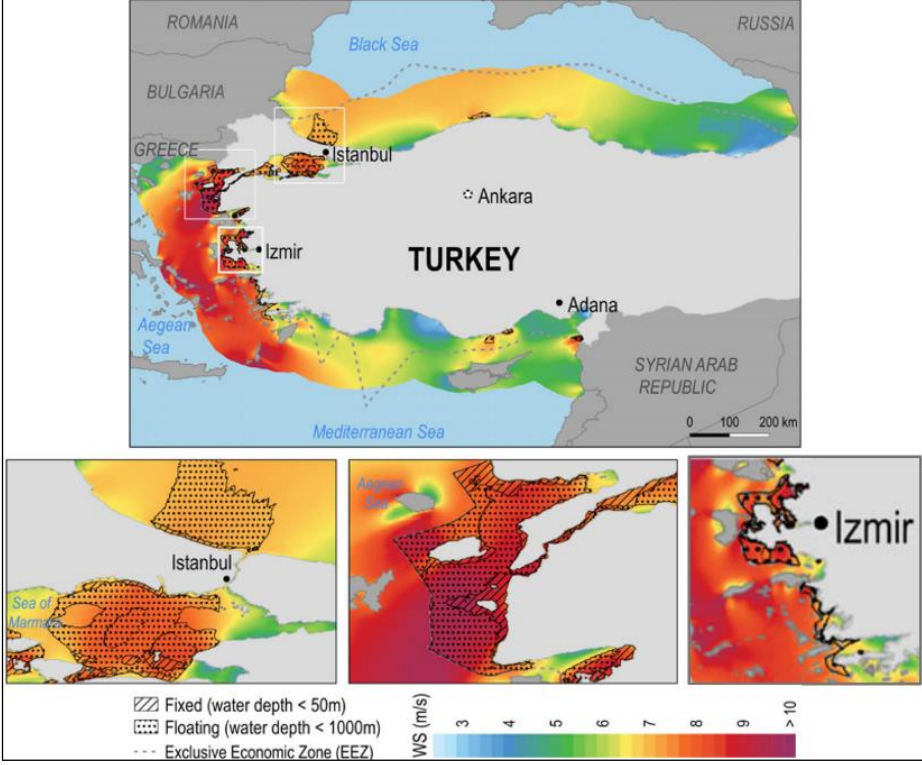
Şekil 5: İndirgenmiş türbin enerji maliyetinin tarihsel değişimi [\$/MWh] (Ohlenforst vd., 2019)



**Şekil 6:** 2024-2028 yılları arasında kara üstü ve deniz üstü türbinlerin kurulum beklentisi [GW] (Ohlenforst vd., 2019)

## 2. TEMEL ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Dünya Bankası'nın "Going Global 2019" raporunda (Dutton vd., 2019), Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerji potansiyeline dikkat çekilmiştir. Raporda, Türkiye'nin kıyı şeridinde önemli bir deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyeli bulunduğu vurgulanmış ve bu potansiyelin değerlendirilebilmesi için bazı bölgelerin özellikle uygun olduğu belirtilmiştir. Rapor, Türkiye'nin özellikle Marmara ve Ege bölgelerinin deniz üstü rüzgâr türbinleri kurulumu için uygun olduğunu ifade etmektedir (Şekil 7). Bu bölgeler, güçlü ve istikrarlı rüzgâr hızlarına sahip olmaları nedeniyle öne çıkmaktadır. Özellikle Ege Denizi'ndeki rüzgâr koşulları, sabit ve yüzer türbin teknolojileri için uygun fırsatlar sunmaktadır. Ayrıca, Marmara Denizi ve Çanakkale Boğazı gibi bölgelerdeki sığ deniz alanları, sabit türbin kurulumlarına elverişli alanlar olarak gösterilmektedir.



**Şekil 7:** Dünya Bankası raporuna göre Türkiye’de deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyelinin yüksek olduğu bölgeler (Dutton vd., 2019)


Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisi kapasitesi, raporda dünya genelinde gelişmekte olan piyasalarda değerlendirilmesi gereken bir fırsat olarak ele alınmıştır. Rapor, Türkiye'nin bu alanda yapacağı yatırımların, ülkenin enerji güvenliği ve sürdürülebilir enerji hedeflerine katkıda bulunabileceğini belirtmektedir. Bu bağlamda, Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyelini en iyi şekilde değerlendirebilmesi için uygun bölgelerde türbin kurulumlarının planlanması, enerji altyapısının güçlendirilmesi ve gerekli teknolojik yatırımların yapılması büyük önem taşımaktadır.

Türkiye’de deniz üstü rüzgâr enerjisi santrali henüz bulunmamaktadır. Türkiye Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2022 yılında yayımladığı Türkiye Ulusal Enerji Planı'nda (Türkiye, 2022), 2035 yılına kadar 5 GW deniz üstü rüzgâr enerjisi kurulu güç hedefi belirlemiştir (Şekil 8). Bu hedef, Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarını artırma ve enerji üretiminde daha



sürdürülebilir bir yapıya geçiş çabalarının önemli bir parçası olarak öne çıkmaktadır. Bu hedef, Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirme sürecinin bir devamı niteliğindedir. Dünya Bankası raporunda vurgulanan Marmara, Ege ve Akdeniz bölgeleri gibi rüzgâr potansiyeli yüksek olan alanlar, bu 5 GW'lık hedefin gerçekleştirilmesinde kritik rol oynayacaktır.

2035 yılına kadar ulaşılması planlanan bu 5 GW'lık kapasite, Türkiye'nin enerji portföyünde deniz üstü rüzgâr enerjisinin payını önemli ölçüde artıracaktır. Bu hedef, aynı zamanda Türkiye'nin enerji güvenliğini artırma, ithal enerji bağımlılığını azaltma ve karbon salınımını düşürme hedefleriyle de uyumludur. Bu bağlamda, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı hem teknoloji geliştirme hem de yatırım çekme stratejileriyle deniz üstü rüzgâr enerjisini teşvik etmeyi planlamaktadır. Türkiye'nin enerji altyapısının güçlendirilmek, yerli ve yabancı yatırımcıların ilgisini çekmek ve uluslararası iş birliklerini artırmak, bu hedefe ulaşmak için kritik öneme sahip olacaktır.



**T.C. ENERJİ VE TABİİ  
KAYNAKLAR BAKANLIĞI**

*BÖLÜM 3: POLİTİKA TERCİHLERİ*

**dikkate alınarak, rüzgar ve güneş gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının toplam elektrik üretimi içindeki paylarının yükseltilmesi planlanmıştır.**

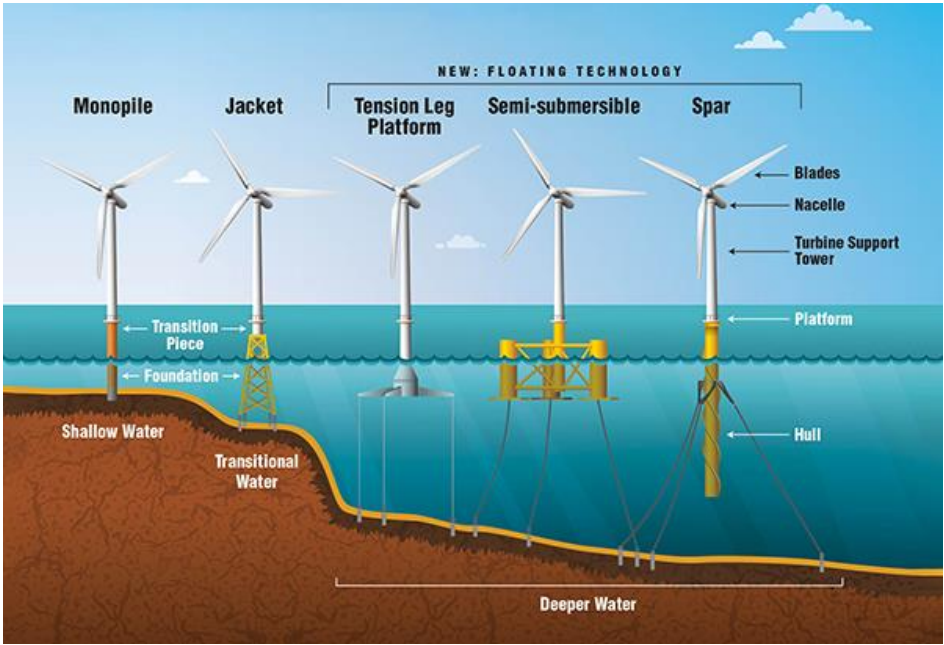
**Bu doğrultuda 2035 yılında kurulu güç,**

- Rüzgar enerjisinde 29,6 GW (24,6 GW kara, **5 GW deniz**),
- Güneş enerjisinde 52,9 GW düzeyine yükselmektedir.

**Şekil 8:** 2022 Türkiye Ulusal Enerji Planında yer alan deniz üstü rüzgâr enerjisi kurulu güç hedefi (Türkiye, 2022)

Dünya Bankası raporunda yer alan bölgelerde deniz derinliği değişkendir. Deniz üstü rüzgâr türbinlerinin kurulumunda deniz tabanının derinliğine ve deniz koşullarına bağlı olarak rüzgâr türbininin uzun ömürlü ve verimli çalışabilmesi için uygun rüzgâr türbini temellerinin seçilmesi gerekmektedir (Uzunoğlu vd., 2021). Bu temeller genel olarak Sabit ve Yüzer

tip temeller olarak adlandırılmaktadır (Şekil 9). 0-30 metre arasında derinliğe sahip sığ sularda genellikle monopil temeller kullanılır. Bu temeller, büyük çaplı çelik boruların deniz tabanına çakılmasıyla oluşturulur ve ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak tercih edilir. 30-50 metrelik orta derinliklerde ise ceket (jacket) temeller tercih edilir. Bu temeller, dört ayaklı bir kafes yapı ile deniz tabanına sabitlenir ve daha büyük stabilite sağlar. 50 metre ve üzeri daha derin sularda yüzer temeller kullanılır. Bu temeller, deniz tabanına sabitlenmeyip yüzeyde yüzer ve halatlarla deniz tabanına demirlenir. Yüzer temeller, derin denizlerde rüzgâr enerjisi potansiyelini değerlendirmek için kullanılır ve gelecekte önemli bir büyüme potansiyeline sahip olacaktır. Farklı derinliklerde doğru temel tipinin seçimi, rüzgâr türbinlerinin güvenli ve verimli çalışması açısından kritik öneme sahiptir.



Şekil 9: Sabit ve yüzer tip deniz üstü rüzgâr türbini temelleri (Iraeta, 2021)

Türbin temel seçimi fizibilite çalışmaları esnasında da oldukça kritik rol oynamaktadır. Yapılan önizleme çalışmalarında özellikle deniz üstü rüzgâr türbini temelinin genel türbin maliyeti içerisinde en büyük ağırlığa sahip kalemlerden birisi olduğu ortaya konmuştur (Şekil 10). Hatalı yapılacak bir

temel seçimi hem fizibilite çalışmalarının yanlış yönlendirilmesine hem de verimsiz ve kısa ömürlü bir türbin kurulumuna sebebiyet verebilir.

Sabit Temelli DRES Yatırımı Ana Maliyetler	Maliyet Kalemi	Tutar (\$/kW)	Ağırlık (%)
Türbin	Kule		
	Kanat	1201	31,9
	Nacelle		
Mühendislik ve Altyapı	Proje & Mühendislik	208	
	<b>Türbin Temeli</b>	<b>617</b>	<b>52,3</b>
	Elektrik Altyapı	561	
	Liman, Montaj ve Diğer	344	
Hizmet Alımları	Sigorta, Finansman ve Diğer	445	15,8
<b>TOPLAM</b>		<b>3376</b>	<b>100</b>

**Şekil 10:** Sabit temelli DRES (deniz üstü rüzgâr enerji santrali) yatırımı – Ana maliyet kalemleri (Durak vd., 2024)

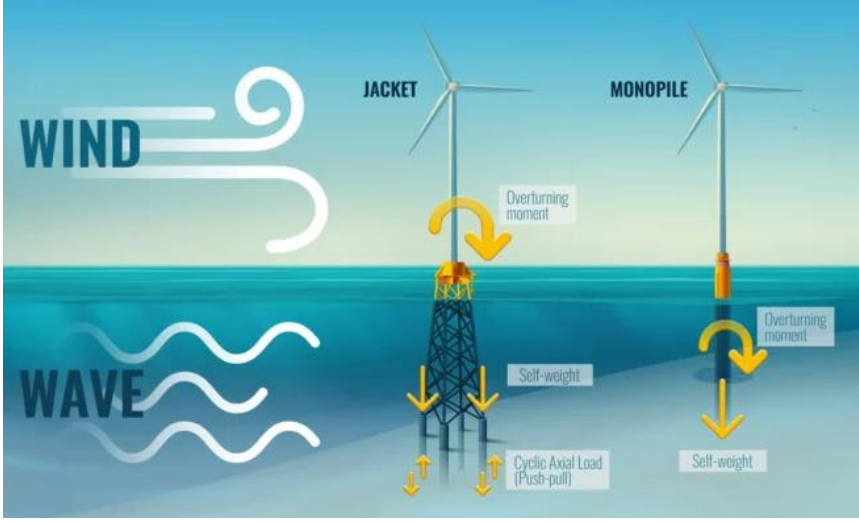
Yapılan çalışmalarda, yüzer rüzgâr türbinlerinin ömrünün, maruz kaldıkları çevresel yüklerle doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Uzunoğlu vd, 2021). Bu yükler, rüzgâr ve dalga gibi dinamik faktörlerden kaynaklanır ve türbinin performansını, yapısal bütünlüğünü ve ömür dayanım süresini etkiler. Özellikle yüksek dalga yükleri ve şiddetli rüzgâr koşulları, platformun hareketlerini ve bunun sonucunda türbin bileşenlerinde oluşabilecek malzeme yorulmasını ve aşınmayı artırabilir. Bu durum, türbinin ömrünü kısaltır ve bakım ihtiyaçlarını artırır. Doğal frekans, platformun yapısal dinamikleri ve stabilitesi açısından kritik öneme sahiptir. Örneğin, rezonansın önlenmesi için yüzer rüzgâr türbinlerinin tasarımında platformun doğal frekansı, dalga ve rüzgâr kaynaklı yüklerin frekans aralıkları dışında tutulmalıdır. Bu, platformun güvenliğini ve türbin ömrünü artırmak için önemlidir.

Deniz üstü rüzgâr türbin maliyetleri kara üstü türbin maliyetlerine göre oldukça yüksek olduğundan dolayı henüz fizibilete aşamasındayken kurulum

bölgesine uygun temel tipinin belirlenmesinde bilgisayar destekli simülasyonlar oldukça kritik bir rol oynamaktadır. Bu simülasyonlar, türbinin çevresel koşullara nasıl tepki vereceğini öngörmek için kullanılır. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) simülasyonları, özellikle rüzgâr türbinlerinin aerodinamik ve hidrodinamik yükler altında nasıl davranacağını belirlemek için kullanılır. Böylelikle, türbinlerin gerçek performansını sanal ortamda test ederek, fiziksel testlere duyulan ihtiyaç azaltılır. Bu, özellikle testlerin maliyetli ve zaman alıcı olduğu durumlarda büyük bir avantaj sağlar. Simülasyonlar, türbinin maruz kalacağı rüzgâr ve dalga yüklerini analiz eder, yapısal stabiliteyi değerlendirir ve optimal tasarımın belirlenmesine yardımcı olur. HAD simülasyon sonuçlarında bir türbinin belirli bir bölgede verimli çalışıp çalışmayacağını değerlendirmek için şu çıktılar kontrol edilir:

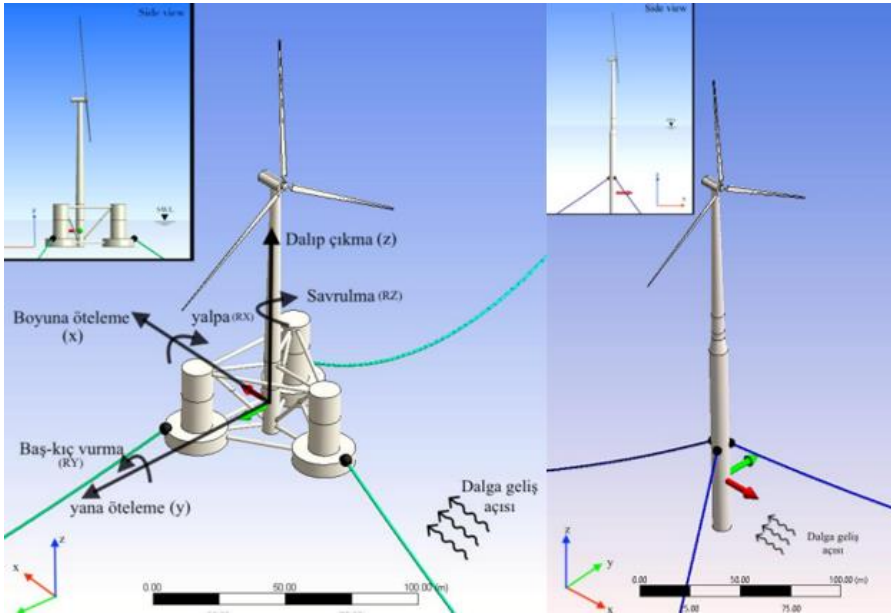
- **Güç Üretimi:** Türbinin belirli rüzgâr hızlarında ne kadar enerji üreteceği incelenmelidir. Simülasyon, türbinin nominal rüzgâr hızlarında verimli çalışıp çalışmadığını gösterir.
- **Rezonans Durumu:** Türbinin doğal frekansı ile çevresel yüklerin frekansları arasındaki ilişki kontrol edilmelidir. Rezonans durumu, türbinin yapısal bütünlüğünü olumsuz etkiler.
- **Türbin Stabilitesi ve Hareketleri:** Platformun stabilitesi ve türbinin hareketleri (İleri-geri, yanal öteleme ve dalıp-çıkma hareketi ile eksenî etrafında dönme, sağa-sola yalpa, baş-kıç vurma) incelenmelidir. Aşırı hareketler enerji üretimini ve türbin ömrünü olumsuz etkiler.

Sabit temelli deniz üstü rüzgâr türbini simülasyonlarında temel olarak dikkate alınması gereken yükler Şekil 11’de özetlenmiştir. Sabit temel tipi, yüzer tipe göre daha rijittir ve serbestlik derecesi düşüktür. Bu sebeple genel olarak eğilme yüklerine maruz kalmaktadırlar. Dinamik dalga yükleri altında sürekli eğilmeye maruz kalan yapıda yorulma etkisinden kaynaklanan hasar meydana gelmektedir. Bu sebeple yapılacak analizlerde plastik deformasyon ve yorulma durumları incelenmelidir (Yeter ve Garbatov, 2014).

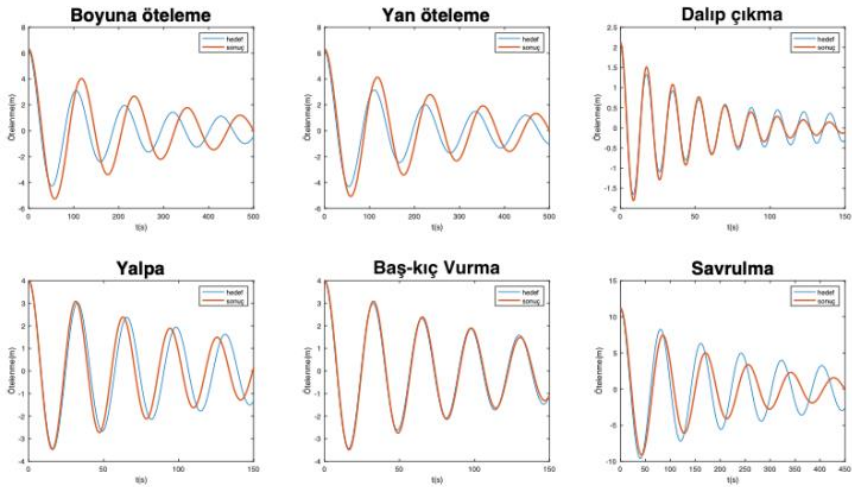


**Şekil 11:** Sabit temelli deniz üstü rüzgâr türbininin maruz kaldığı yükler (Bentley Blog, 2022)

Yüzer deniz üstü rüzgâr türbinlerinin analizinde kritik durum ise serbestlik derecesidir. Bu tip türbinler çelik halatlarla deniz tabanına demirlenirler (Şekil 9). Yüzer temelin tipine göre demirleme biçimi farklılık gösterebilir. Şekil 12’de verilen çalışmada (Aktaş vd., 2018) yarı batık (semi-submersible) ve spar tipi platformlar incelenirken, ilgili modeller uluslararası sayısal model karşılaştırma çalışmalarında (OC3, OC4) kullanılan platformlarla karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Özellikle, platformların stabilite ve doğal frekans analizlerinde, yazılımın sağladığı sonuçların fiziksel deneylerle ve diğer simülasyon yazılımlarıyla uyumluluğu incelenmiştir. Modellemelerde, yarı batık platformun stabilitesini sağlamak için kaldırma kuvveti ve balast sistemi kullanılmış, spar tipi platformda ise balast ağırlığı ile stabilite sağlanmıştır. Her iki platform tipi için doğal frekans, statik denge ve düzenli dalga koşulları altında hareket davranışları analiz edilmiştir (Şekil 13). Sonuçlar, diğer simülasyon yazılımları ve fiziksel deneylerle karşılaştırılmış ve ilgili HAD yazılımının güvenilirliği test edilmiştir. Modelleme sürecinde kullanılan parametrelerin doğru belirlenmesinin ve farklı serbestlik derecelerinde yapılan analizlerin, platformların gerçek koşullarda nasıl performans göstereceğini belirlemek için kritik olduğu ifade edilmiştir.

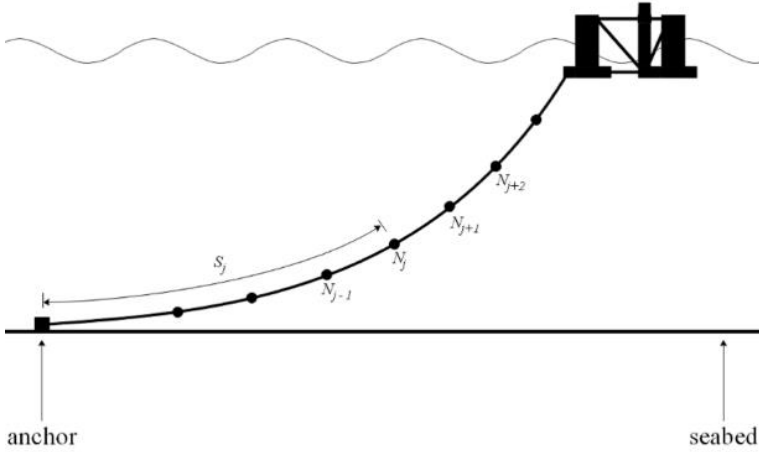


Şekil 12: Sırasıyla yarı batık (semi-submersible) ve spar tipi yüzer temelli türbinlerin sayısal modellenmesi (Aktaş vd., 2018)



Şekil 13: Altı serbestlik derecesine sahip temelin yükler altındaki davranışı (Aktaş vd., 2018)

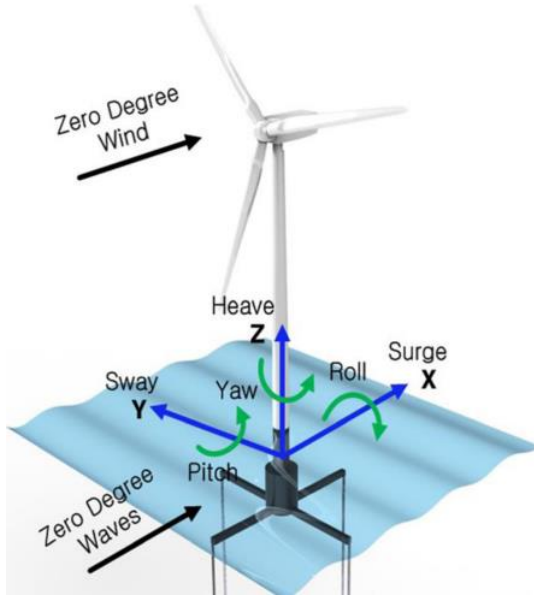
Yüzer temel simülasyonlarında demirleme modellemesi oldukça kritiktir. Farklı çalışmalarda (Alkarem vd., 2021) zincirleme hatları (catenary mooring lines) kullanılarak platformların deniz tabanına sabitlenmesi incelenmiştir (Şekil 14). Demirleme sisteminin dinamik davranışları, kabloların kütlesi, sürüklenme kuvvetleri, elastik gerilmeler ve eğilme momentleri dikkate alınarak modellenmiştir. Kabloların dinamik tepkileri ve bunların platform hareketlerine etkisi simülasyonlarda analiz edilmiştir. Özellikle snap yükleri gibi ani gerilme olayları da modellenmiş ve analiz edilmiştir. Bu sayede, demirleme sistemlerinin performansı ve güvenilirliği değerlendirilmiştir.



**Şekil 14:** Yüzer temel simülasyonunda demirleme modellemesi örneği (Alkarem vd., 2021)

Dinamik davranışın modellenmesinde hem sınır koşulları hem de hesaplama algoritması oldukça önemlidir. Yüzer temelli bir rüzgâr türbininde hava hızıyla birlikte dönen türbin kanatları, aynı şekilde rüzgâr yükü altında türbinin eğilmesine sebep olur. Bu esnada deniz dalgaları ve gelgitler de türbini bulunduğu noktadan uzaklaştırmaya çalışırken aynı zamanda dalıp çıkmasına sebebiyet verir. Tüm bu dinamik davranış yüzer temelli modellerdeki altı serbestlik derecesinin (Şekil 15) bir sonucudur ve simülasyon sürecini oldukça karmaşıklarıştırmaktadır. Yapılan çalışmalarda (Tran vd., 2015) türbin kanatlarının dönüşünün üç boyutlu sayısal modelleme yerine bir boyutlu analitik modelleme ile ele alarak çözüm ağı oluşturma ve

simülasyon süreçlerindeki donanım maliyetlerinin düşürüldüğü gözlemlenmiştir. UBEM (Unsteady Blade Element Momentum) metodu temel olarak bir boyutlu hesaplama denklemi olarak kabul edilir. Bu yöntem, rüzgâr türbinlerinin aerodinamik performansını analiz etmek ve genellikle türbin kanatlarına etki eden kuvvetleri hesaplamak için kullanılır. Dinamik analizden ziyade, kanatların çeşitli çalışma koşullarındaki aerodinamik yüklerini belirlemek için momentum teorisi ve kanat elemanları arasındaki etkileşimleri hesaba katarak sonuçlar üretir. Bu yöntem, yüksek doğrulukta sonuçlar sağlamak amacıyla bazı düzeltme faktörlerini içerir (Şekil 16).

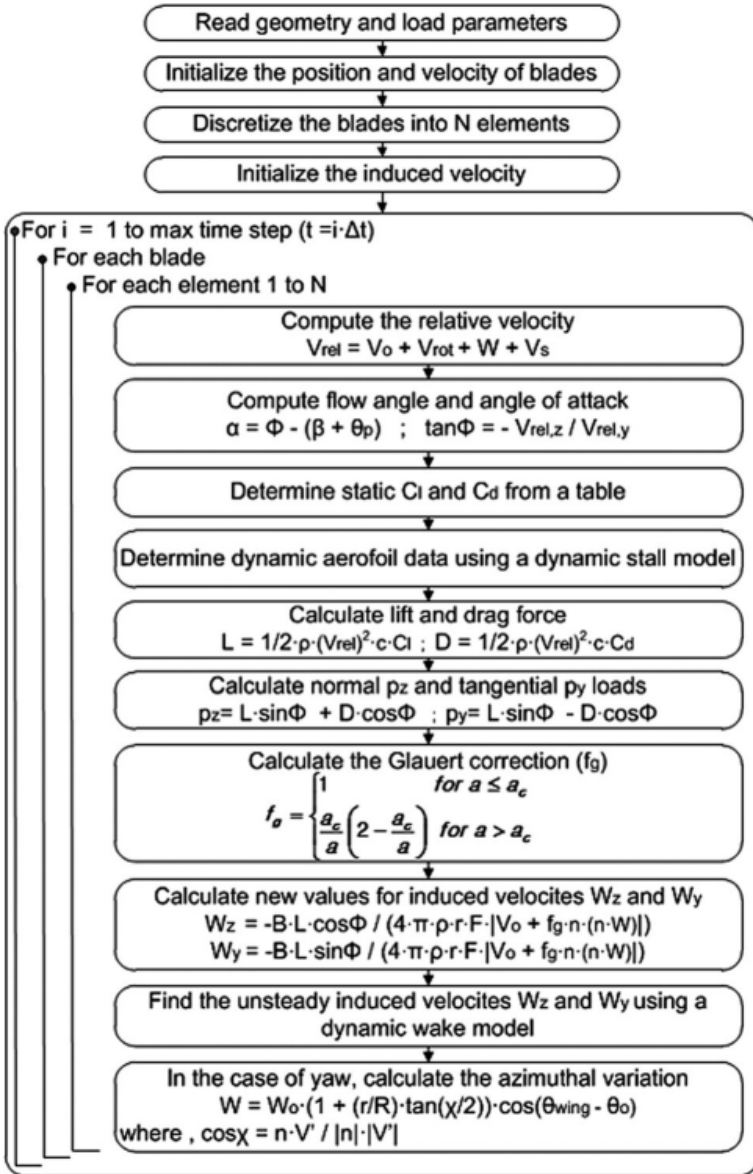


Şekil 15: Yüzer temelli rüzgâr türbininin altı serbestlik derecesi (Tran vd., 2015)

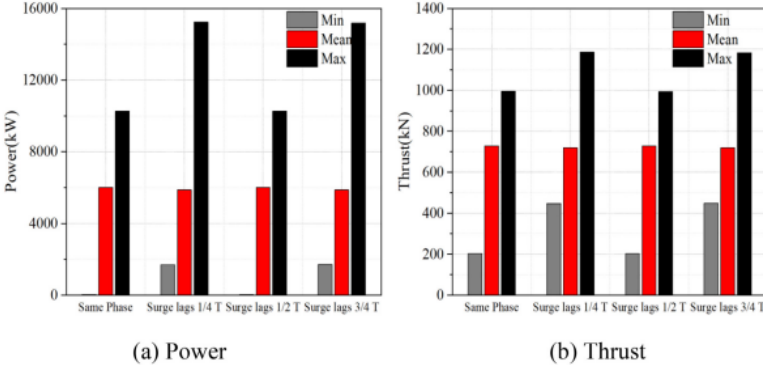
Sayısal analizlerde simülasyon modelinin dinamik performansını görüntülemek üzere dalga yüklerinin simülasyon modeline yansıtılmasında çeşitli denklemler kullanılmıştır (Zhang vd., 2020). İlgili çalışmalarda türbinin dönme hareketini modelleyebilmek için bir frekans alanı denklemi kurulmuştur. Bu denklemde, sistemin atalet momenti, ek atalet momenti, radyasyon ve viskoz sönümlenme katsayıları, sisteme ait yaylanma kuvveti ve dalga kuvvetleri gibi faktörler yer almıştır. Bu denklem, türbinin dalga ve rüzgâr etkisi altında nasıl tepki vereceğini analiz etmek için kullanılmıştır. Ayrıca, türbinin dinamik performansını zaman içinde incelemek için bir zaman alanı denklemi geliştirilmiştir. İlgili denklem, türbinin yer değiştirme, hız ve ivmesini hesaplar. Böylece, türbinin hareketlerini ve dinamik



özelliklerini modellemek için çevresel yükleri, sönümlenme etkilerini ve yay kuvvetlerini içeren sınır koşulları oluşturulmuştur. Böylece genel sistemin dinamik davranışı sonucunda zamana bağlı olarak ne kadar güç çıkışı verdiği de analiz edilebilmektedir (Şekil 17).

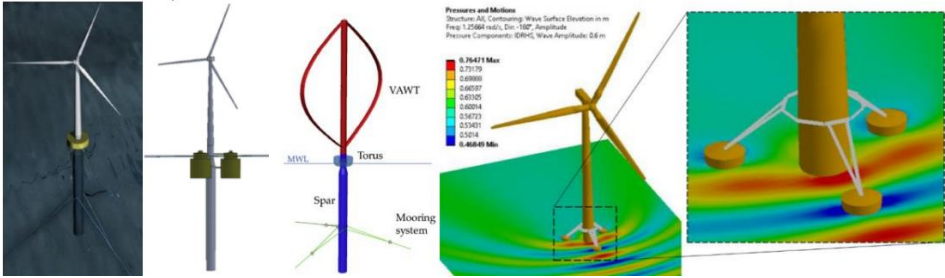


Şekil 16: UBEM metodunun açıklanması (Tran vd., 2015)



**Şekil 17:** Farklı frekans ve faz farkları için maksimum ve ortalama güç çıkışı ve itiş miktarları (Guo vd., 2022)

Yapılan simülasyonlar sonucunda, tesisin kurulması istenen bölgede yüksek performans gösteren temel tipinin belirlenmesi (sabit veya yüzer), halihazırda denizin ortasında kurulu bir yapıdan daha fazla nasıl enerji elde edilebilir sorusunu da beraberinde getirmektedir. Günümüzde dalga enerjisinden elektrik üreten konvertörlerin, kurulu veya kurulacak rüzgâr türbinlerine entegre edilmesi konusunda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda hem birim türbin sisteminden üretilen enerjinin artırılması hem de türbinin belirli oranda sönmülenebilecek karakteristik dinamik davranışları yardımıyla türbin stabilitesine yardımcı olması kapsamında farklı dalga enerjisi konvertör tiplerinin birlikte kullanılması araştırılmaktadır (Şekil 18). Böylelikle çok yüksek maliyetler nedenleriyle yaygınlaşamayan açık deniz dalga konvertörlerinin, bu türbinlerle birlikte kullanım olanağı bularak yaygınlaşması beklenmektedir.



**Şekil 18:** Deniz üstü rüzgâr türbinlerine entegre edilebilir bazı dalga enerjisi konvertörleri (Wan vd., 2024)

## SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ve düşen maliyetlerle birlikte deniz üstü rüzgâr türbinlerinin önemi giderek artmaktadır. Karasal alanlara kıyasla daha güçlü ve sürekli rüzgarlara sahip deniz üstü alanlar, türbinlerin daha verimli çalışmasına ve daha fazla enerji üretmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca, denizler, daha geniş, engelsiz ve boş alanlar sunduğundan, hem daha büyük türbinlerin inşasını mümkün kılar hem de büyük çaplı rüzgâr çiftliklerinin kurulmasına olanak tanır.

Bu çalışma, 2035 yılına kadar toplam 5 GW'lık deniz üstü rüzgâr enerjisi kurulu gücüne sahip olma hedefi koyan Türkiye'nin bu potansiyelini değerlendirmek ve elverişli bölgeler için en uygun sabit ve yüzer temelli rüzgâr türbini tiplerini belirlemek amacıyla yapılan kapsamlı bir ön araştırmayı içermektedir. Ege kıyıları, rüzgâr hızı ve sürekliliği açısından Türkiye'nin en yüksek potansiyele sahip bölgelerinden biridir. Bu durum, bölgedeki rüzgâr enerjisi yatırımlarını ülkenin enerji bağımsızlığı ve sürdürülebilir enerji hedeflerine ulaşması açısından kritik hale getirmektedir.

Yapılan araştırmalar, aday bölgelerin meteorolojik ve oşinografik karakteristiğine göre en uzun ömürlü ve verimli çalışacak sabit ve yüzer türbin temel tiplerinin seçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Sığ sularda monopil ve ceket temelleri tercih edilirken, daha derin sularda yüzer temellerin kullanılması gerekmektedir. Ayrıca, yüzer türbinlerin maruz kaldıkları çevresel yükler ve rezonans durumları dikkate alınarak tasarlanması, türbinlerin ömrünü uzatmak ve bakım maliyetlerini azaltmak açısından önemlidir.

Simülasyonlar ve HAD analizleri, türbinlerin belirli bir bölgede verimli çalışıp çalışmayacağını öngörmek için hayati öneme sahiptir. Bu simülasyonlar, türbinler henüz tasarım aşamasındayken türbinin güç üretimi, stabilitesi ve rezonans durumları gibi kritik faktörleri değerlendirme imkânı sunar. Türkiye'nin deniz üstü rüzgâr enerjisi potansiyelini en iyi şekilde değerlendirebilmesi için bu simülasyonların ve analizlerin, yatırımların planlanmasında ve optimize edilmesinde önemli bir rol oynayacağı beklenmektedir.

Sonuç olarak, Ege Denizi'nde yapılacak doğru türbin ve ona bağlı olarak temel seçimi, bölgedeki rüzgâr enerjisi projelerinin başarısını doğrudan etkileyecektir. Bu tür projeler, Türkiye'nin enerji portföyünde yenilenebilir enerji kaynaklarının payını artırarak, enerji güvenliğini ve sürdürülebilirliğini güçlendirecektir.

## KAYNAKÇA

- Aktaş, K., Al Karem, R. A., Öztunalı Özbahçeci, B., & Özkol, Ü. (2018). Açık Deniz Rüzgar Türbinleri Yüzer Platformlarının Hidrodinamik Modellenmesi. In 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu (pp. 788–801).
- Alkarem, Y. R., & Ozbahçeci, B. O. (2021). A Complementary Analysis of Wave Irregularity Effect on the Hydrodynamic Responses of Offshore Wind Turbines With the Semi-Submersible Platform. *Applied Ocean Research*, 113, 102757. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2021.102757>
- Aminzadeh, A., Dimitrova, M., Meibadi, M. S., Sattarpanah Karganroudi, S., Taheri, H., Ibrahim, H., & Wen, Y. (2023). Non-contact inspection methods for wind turbine blade maintenance: Techno–Economic Review of techniques for integration with industry 4.0. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 42(2). <https://doi.org/10.1007/s10921-023-00967-5>.
- Bentley Blog | Infrastructure Engineering Software & Solutions. (2024, March 13). All about offshore wind turbine foundations. <https://blog.bentley.com/software/all-about-offshore-wind-turbine-foundations/>
- Communication, C. (2024). Wind Energy: Potential for the Future. ReNew. <https://www.renew.com/blog-detail/wind-energy-potential-for-the-future>
- Durak, M., Yaşacan, B., Güçlüer Küpeli, D., Şekerci, E., & Kalaycı, A. (2023). (rep.). Deniz Üstü Rüzgâr Elektrik Santralleri Sanayi Yol Haritası (pp. 43–62). İstanbul: DÜRED.
- Dutton, A. S. P., Sullivan, C. C., Minchew, E. O., Knight, O., & Whittaker, S. (2019). (rep.). Going Global : Expanding Offshore Wind to Emerging Markets (Vol. 1, pp. 24–25). World Bank. Retrieved September 2024, from <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/716891572457609829/going-global-expanding-offshore-wind-to-emerging-markets>.
- Guo, Y., Wang, X., Mei, Y., Ye, Z., & Guo, X. (2022). Effect of Coupled Platform Pitch-Surge Motions on the Aerodynamic Characters of a Horizontal Floating Offshore Wind Turbine. *Renewable Energy*, 196, 278–297. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.06.108>

- Hall, J. F., Mecklenborg, C. A., Chen, D., & Pratap, S. B. (2011). Wind energy conversion with a variable-ratio gearbox: Design and analysis. *Renewable Energy*, 36(3), 1075–1080. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.08.037>
- Iraeta Energy Equipment Co., Ltd. (2021, March). IRAETA Provides Tower Flanges for European Floating Offshore Wind Power. <https://iraeta.com/index.php?s=%2FArticle%2Fdetail%2Fid%2F456.html>
- Komusanac, I., Fraile, D., & Brindley, G. (2019). (rep.). Wind Energy in Europe in 2018 (pp. 7–29). Wind Europe. Retrieved 2024, from <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf>.
- Lee, J., & Zhao, F. (2024). (rep.). Global Wind Report 2024 (p. 53). Global Wind Energy Council. Retrieved September 2024, from <https://gwec.net/global-wind-report-2024/>.
- Ohlenforst, K., Sawyer, S., Dutton, A., Backwell, B., Fiestas, R., Lee, J., Qiao, L., Zhao, F., & Balachandran, N. (2018). (rep.). Global Wind Report 2018 (pp. 17–54). Global Wind Energy Council. Retrieved 2024, from <https://gwec.net/members-area-market-intelligence/reports/gwec-global-reports/>.
- Şentürk, A. E., & Oğuz, E. (2020). Karasal ve Deniz Üstü Rüzgâr Çiftliklerinin Ekonomik ve Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. *Gemi Ve Deniz Teknolojisi*, 28(217), 5-32.
- Terzioğlu, H., Arslan, M., & Demirok, H. D. (2019). Rüzgar Enerjisi ile Elektrik Üretimi. In *Mühendislik Alanında Araştırma Makaleleri* (pp. 219–241). essay, Gece Akademi.
- Tran, T.T., Kim, D.-H., & Hieu Nguyen, B. (2015). Aerodynamic Interference Effect of Huge Wind Turbine Blades with Periodic Surge Motions Using Overset Grid-Based Computational Fluid Dynamics Approach. *Journal of Solar Energy Engineering*, 137(6). <https://doi.org/10.1115/1.4031184>
- Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 1. Türkiye Ulusal Enerji Planı 14–15 (2022).
- Uzunoğlu, E., Oğuz, E., & Soares, C. G. (2021). An Overview Of Platform Types Used In Floating Wind Energy. In *2nd International Congress*

- on Ship and Marine Technology (pp. 51–63). İstanbul; e-ISBN: 978-605-01-0713-5.
- Ünal, R., Akçay, M. T., & Özgünel, S. (2023). Enerji Veriminin Arttırılması ve Simülasyonunda Rüzgâr Enerjisi Sistemlerinin etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Mühendislik Arastırma ve Gelistirme Dergisi*. <https://doi.org/10.29137/umagd.1345819>.
- Wan, L., Moan, T., Gao, Z., & Shi, W. (2024). A review on the technical development of combined wind and Wave Energy Conversion Systems. *Energy*, 294, 130885. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.130885>
- Yeter, B., & Garbatov, Y. (2013). Fatigue damage analysis of a fixed offshore wind turbine supporting structure. *Developments in Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources*, 415–424. <https://doi.org/10.1201/b15813-51>
- Zhang, P., Yang, S., Li, Y., Gu, J., Hu, Z., Zhang, R., & Tang, Y. (2020). Dynamic Response of Articulated Offshore Wind Turbines Under Different Water Depths. *Energies*, 13(11), 2784. <https://doi.org/10.3390/en13112784>

## BÖLÜM 7

### FARKLI GEMİ TİPLERİ ÖRNEĞİNDE DENİZ TAŞIMACILIĞINDA KARBON SALINIMININ SINIRLANDIRILMASI

Ömer Faruk GÜLCEMAL<sup>1</sup>

Prof. Dr. K. Turgut GÜRSEL<sup>2</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14556575>

---

1 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; [gulcemaal.omerfaruk@ogr.deu.edu.tr](mailto:gulcemaal.omerfaruk@ogr.deu.edu.tr);  
ORCID ID: 0009-0003-2477-932X.

2 Dokuz Eylül Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Gemi İnşaatı Programı, Haydar Aliyev Bulvarı, No: 32, İzmir-Türkiye; [turgut.gursel@deu.edu.tr](mailto:turgut.gursel@deu.edu.tr);  
ORCID ID: 0000-0002-9681-680X.





## GİRİŞ

İklim değişikliği ve artan çevre kirliliğine paralel olarak sürmekte olan elverişsiz çevre koşulları, son yıllarda denizcilik endüstrisi için de önemli bir sorun haline gelmiştir. Bu nedenle, gemi taşımacılığı sektöründe karbon ayak izinin azaltılması sürdürülebilirlik açısından kritik bir önem taşımaya başlamıştır.

Tanım olarak karbon ayak izi, bir kuruluşun, ürünün, hizmetin veya faaliyetin oluşturduğu sera gazı emisyonlarının toplam miktarını ifade eden bir ölçüttür. Bu emisyonlar, üretimden başlayıp, tedarik zincirindeki faaliyetlere ve son kullanıcıya kadar tüm yaşam döngüsünü kapsamaktadır. Karbon ayak izi, özellikle küresel iklim değişikliği krizinin bir sonucu olarak, şirketlerin ve bireylerin yaşam biçimlerinin çevreye olan etkilerini anlamalarına yardımcı olmak için kullanılan kavramsal bir araçtır.

Gemi endüstrisi ve işletmeciliği, büyük miktarlarda karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), azot oksit (NO<sub>x</sub>) ve kükürt oksit (SO<sub>x</sub>) gibi gazların atmosfere salınmasına neden olmaktadır. Karbon ayak izi hesaplamaları ve bu doğrultuda alınacak etkili önlemler, gemi endüstrisindeki ve işletmeciliğindeki emisyonların azaltılmasına ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmaya yardımcı olabilir. Bu nedenle, gemi endüstrisinde ve özellikle de işletmeciliğinde karbon ayak izinin belirlenmesi ve azaltılmasına yönelik çalışmalar son yıllarda hızlandırılmıştır.

Deniz taşımacılığı, dünya genelindeki toplam taşımacılık faaliyetlerinin yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Bunun sebebi deniz taşımacılığının diğer taşımacılık yöntemlerine göre daha verimli ve çok daha ekonomik olmasıdır. Ayrıca büyük ölçekteki yüklerin özellikle kıtalar arasında taşınması için en uygun taşımacılık yöntemi deniz taşımacılığıdır. Kuşkusuz, deniz taşımacılığı da önemli bir çevresel sorun olan karbon salınımına neden olmakta ve deniz taşımacılığındaki karbon ayak izinin azaltılması için çalışmalar yürütülmektedir.

World Resources Institute'un (WRI) 2019 yılında sektörel bazda yaptığı sera gazı emisyonları karşılaştırmasında, taşımacılık sektörünün %14,3, deniz taşımacılığının ise toplam gaz emisyonları içerisinde %1,8'lik

bir emisyon ürettiği belirtilmiştir (World Greenhouse Gas Emissions, 2019). Aynı mesafede taşınacak olan yükün deniz yoluyla taşınması, karayolu veya havayoluyla taşınmasına göre çok daha az sera gazı emisyonuna neden olduğundan, deniz taşımacılığı, diğer ulaşım sektörlerine kıyasla daha düşük karbon ayak izi oluşturmaktadır. International Maritime Organization (IMO) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı taşımacılık sistemleri ile bir ton yükü 1.000 kilometre mesafeye taşıma sırasında oluşan karbon ayak izi Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1:** Farklı taşımacılık sistemlerinin bir ton yükü 1.000 kilometre mesafeye taşımaları sırasında oluşan karbon ayak izi

Taşımacılık türü	Karbondiyoksit eşdeğeri salınım CO <sub>2e</sub> (kg)
Deniz taşımacılığı	7
Kara taşımacılığı	21
Hava taşımacılığı	249

Bu veriler deniz taşımacılığının diğer taşımacılık sektörlerine kıyasla daha çevre dostu olduğunu göstermektedir. Ancak yine de deniz taşımacılığının küresel sera gazı emisyonlarına belirli oranda katkı yaptığını ve bu nedenle sektörün neden olduğu karbon ayak izinin azaltılmasının önemli olduğu kanaati hakimdir (IMO, 2020).

Bu çalışmada, farklı gemi tiplerinde karbon ayak izinin hesaplanması ve karbon salınımının azaltılması için yapılan çalışmaların değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Araştırmanın ana hedefi, farklı gemi tiplerindeki karbon ayak izlerini hesaplamak ve karşılaştırmaktır. Bu çalışmada gemilerde emisyon hesabı için “yakıt tüketimi verisine dayanan tahminler ve makine gücüne dayanan tahminler” olmak üzere iki farklı tahmin yöntemi üzerinde durulacaktır. Yakıt harcamasını kullanan emisyon tahminleri hem gerçek zamanlı olduğundan hem de kesin verilere dayandığından genellikle daha iyi sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Makine gücü yönteminde, gemiye ait tüm seyir verilerinin bulunması gerekmektedir. Hem yakıt tüketim değerlerine hem de tüm gemi seyir ve rota verilerine ayrıntılı olarak ulaşılması durumunda doğru emisyon tahmini için her iki yöntemin de kullanılması önerilmektedir.

Araştırmanın sonucunda, farklı gemi tiplerinin karbon ayak izleri hesaplanacak ve bu farklılıkları etkileyen faktörler değerlendirilecektir. Bununla birlikte seçilen gemi tipleri üzerinden karbon ayak izini azaltmaya yönelik ayrıntılı çözüm önerileri sunulacaktır.

## 1. KARBON AYAK İZİNİN BELİRLENMESİ

Endüstriyel üretim sektörü ile enerji üretimi ve taşımacılık sektöründe özellikle fosil yakıt kullanımı ve diğer endüstriyel süreçler, atmosfere önemli miktarda sera gazı salınımına neden olurken, karbondioksit ve metan gibi sera gazları, atmosferdeki ısının tutulmasına ve dünya genelinde iklim değişikliğine neden olmaktadır.

Karbon ayak izi, bir ürünün veya faaliyetin elde edilmesi sırasında oluşan sera gazı emisyonlarına karşılık gelen karbondioksit eşdeğerinin ölçüsüdür. Karbon ayak izi bileşenleri, ürünlerin ömrü boyunca oluşan sera gazı emisyonlarını hesaba katan Tablo 2'deki gibi birçok farklı faktörü içerir. Karbon ayak izi, tüm bu faktörleri dikkate alarak belirlenir ve bir ürünün veya faaliyetin sera gazı emisyonlarına katkısını ölçer.

**Tablo 2:** Karbon ayak izini oluşturan emisyonlar

Emisyon grupları	Açıklama
Doğrudan emisyonlar	Fosil yakıt kullanımı, endüstriyel süreçler ve tarım uygulamaları gibi bir ürünün üretiminde veya bir faaliyet sırasında doğrudan ortaya çıkan sera gazı emisyonları.
Dolaylı emisyonlar	Elektrik üretimi için fosil yakıtların kullanılması ve taşımacılık alanında olduğu gibi, bir ürünün veya faaliyetin gerçekleştirilmesi sırasında ortaya çıkan, ancak ürünün doğrudan üretiminde veya faaliyetin kendisinde oluşmayan sera gazı emisyonları
Tedarikçi kaynaklı ve ömür sonu emisyonları	Bir ürünün ömrü boyunca ve daha sonra hurdaya dönüştürüldüğünde oluşan emisyonlar gibi, ürünlerin kullanımı ve ömürlerinin sonunda dönüştürülmeleri sırasında oluşan sera gazı emisyonları.

Bu çalışmada, farklı gemi tipleri için genel bir emisyon hesaplaması yapılırken, Trozzi'nin önerdiği "yakıt tüketimi verisine dayanan tahminler" ve

“makine gücüne dayanan tahminler” olmak üzere iki farklı tahmin yöntemi üzerinde durulmuştur. Yakıt harcamasını kullanan emisyon tahminlerinin, hem gerçek zamanlı hem de kesin verilerle yapılmasından dolayı genellikle daha iyi sonuçlar verdiği kabul edilmektedir. Makine gücü yönteminden güvenilir sonuçlar alınması, tüm gemi seyir ve rota verilerinin iyi tutulmasını gerektirmektedir. Hem güvenilir yakıt tüketimi hem de güvenilir gemi rota ve seyir verilerinin elde edilmesi durumunda güvenilir emisyon tahmini için her iki yöntemin de kullanılması önerilmektedir (Bilgili, 2013).

i. Yakıt Tüketimine Dayanan Emisyon Tahmini;

$$E_{\text{Trip},i,j,m} = \sum_P (FC_{j,m,p} \cdot EF_{i,j,m,p}) \quad (1)$$

$E_{\text{Trip}}$  : Tüm yolculuk sürecinde ortaya çıkan toplam emisyon (ton)

$FC$  : Yakıt tüketimi (ton)

$EF$  : Emisyon faktörü (kg/ton yakıt)

$i$  : Kirletici türü

$j$  : Makine türü

$m$  : Yakıt türü

$p$  : Seyir, manevra, demirleme, açıkta bekleme gibi yolculuk aşamaları

ii. Makine Gücüne Dayanan Emisyon Tahmini;

Makine gücü yönteminin kullanılabilmesi için ek olarak ana makinenin saat olarak çalışma süresi, makine gücü ve makine tipi için uygun emisyon faktörü ile makinenin çalışma yükü bilinmelidir.

$$E_{\text{Trip},i,j,m} = \sum_P [T_p \sum_P (P_e \cdot LF_e \cdot EF_{i,j,m,p})] \quad (2)$$

$E_{\text{Trip}}$  : Tüm yolculuk sürecinde ortaya çıkan toplam emisyon (ton)

$EF$  : Emisyon faktörü (kg/kWh)

$LF$  : Makine yük faktörü (%)

$P$  : Makine gücü (kW)

$T$  : Yolculuk süresi (saat)

$e$  : Makine tipi

$i$  : Kirletici türü

$j$  : Makine türü

$m$  : Yakıt türü

$p$  : Seyir, manevra, demirleme, açıkta bekleme gibi yolculuk aşamaları

Bu çalışmada belirlenen rota üzerinde tahmini bir yakıt tüketimi hesaplanarak toplam güç ve %85 makine yük durumu dikkate alınarak, ortalama seyir hızında gerçekleşen yakıt tüketimi tahmini olarak hesaplanacak ve yakıt tüketimi üzerinden yaklaşık bir emisyon hesabı yapılacaktır.

## **2. GEMİ TİPLERİNİN, ROTANIN VE GEMİ MOTOR GÜÇLERİNİN BELİRLENMESİ ve EMİSYON HESABI**

Boğazlarda gerçekleşen gemi trafiği incelendiğinde, sayı bazında en fazla geçiş yapan gemi tiplerinin sırayla, genel kargo/konteyner gemileri, dökme yük (bulk carrier) gemileri ve tankerlerin deniz taşımacılığında en yoğun kullanılan gemi tipleri olduğu saptanmıştır. Bunlara ek olarak büyük yolcu gemisi ve yatlar da bu çalışma kapsamında incelenmiştir. (Türk boğazları gemi geçiş istatistikleri, 2022). Ayrıca, deniz taşımacılığında en çok kullanılan rotalar incelenmiş ve tüm gemi tipleri için aynı rota üzerinden karbon ayak izi hesabının analiz edilebilmesi için Şanghay (Çin) – İzmir hattı seçilmiştir.

Şanghay - Doğu Çin Denizi - Sarı Deniz - Güney Çin Denizi - Malakka Boğazı - Hint Okyanusu - Aden Körfezi - Süveyş Kanalı - Akdeniz - İzmir'i içeren Şanghay – İzmir hattının yaklaşık mesafesi 9.041 deniz mili'dir (16.744 km). Belirlenen rota üzerindeki yolculuk sürecinde tüketilen yakıt miktarı hesabı doğrultusunda yakıt tüketimine dayanan emisyon tahmini yöntemi ile tahmini CO<sub>2</sub>e eşdeğeri cinsinden karbon ayak izleri hesaplanmıştır. Bu hesap için gemilerin toplam motor güçleri, ortalama seyir hızları ve yakıt türleri verileri kullanılmıştır. Bu veriler, belirlenen gemiler için üretici firmaların katalog bilgileri ve güvenilir internet kaynakları üzerinden elde edilmiştir. Bu kapsamda belirlenen farklı gemi tipleri ve belirlenen rota için hesaplanan yaklaşık CO<sub>2</sub>e eşdeğeri cinsinden karbon ayak izleri Tablo 3'de sunulmuştur.

## **3. KARBON AYAK İZİNİ AZALTMA YÖNTEMLERİ**

Çalışma kapsamında karbon ayak izinin azaltılmasına yönelik yapılan çalışmalar ve öneriler değerlendirilmiştir. Bu kapsamda geliştirilen yöntemler aşağıda verilmektedir.

### 3.1 Yakıt Verimliliğinin Artırılmasına Yönelik Önlemler

Yakıt verimliliğini artırmak için gemi makinaları ve gemi formu üzerinde sürekli olarak teknolojik yenilikler ve geliştirilmiş tasarım optimizasyonları uygulanmaktadır. Gemilerin özelliklerine ve uygulanacak yöntemlere bağlı olarak, yakıt verimliliği üzerinde farklı kombinasyonlar kullanılabilir.

- i. Gelişmiş gemi tasarımı: Gemi tasarımı, toplam hidrodinamik direnci azaltma açısından optimize edilmelidir. İyi bir hidrodinamik tasarım, suya temas eden yüzey alanını azaltarak ve formu iyileştirerek gemi viskoz ve dalga direncini minimize ettiğinden, yakıt tüketimini etkili oranda düşürür. Bunun için optimal form ve pürüzsüz minimum yüzey alanı sağlayan tasarımlar önem taşımaktadır.
- ii. Hafif malzeme kullanımı: Gemi inşasında daha hafif malzemelerin kullanılması, taşımacılık kapasitesini korurken toplam ağırlığı azaltır. Dolayısıyla, hafif malzemeler, yakıt tüketimini azaltarak enerji verimliliğini artırır. Örneğin, alüminyum yerine kompozit malzemeler kullanılabilir.

**Tablo 3:** Gemi tipleri ve belirlenen rota için hesaplanan CO<sub>2e</sub> eşdeğeri cinsinden karbon ayak izleri

	MSC Gülsün	MS Ore Brasil	Pioneering Spirit	Wonder of the Seas	Azzam
Tipi	Konteyner Gemisi	Dökme Yük Gemisi	Tanker	Yolcu Gemisi	Süper yat
İnşa yılı	2019	2011	2016	2022	2013
Uzunluk (m)	400	362	477	362,04	180
Genişlik (m)	61,3	65,0	124,0	64	20,8
Draft (m)	15,5	11,2	27,0	9,3	4,3
Ağırlık (GRT)	233.328	198.980	403.342	236.857	13.136
Kapasite (DWT) (TEU) (Ton)	24.346 (TEU)	402.347 (DWT)	1.000.000 (Ton)	17.100 (DWT)	
(Yolcu/Mürettebat)				6.988/2.300 Yolcu/ Mürettebat	
Hız (knot)	21	15,4	14	22	32

Ana motor	MAN B&W 11G95ME- C9.5	MAN B&W 7S80ME- C8	MAN 20V32 + 9L32	Wärtsilä 12V46F+ 16V46F	MTU 16V 4000 M96L
Toplam güç (kW)	66.650	29.260	94.600	82.000	17.500
Yardımcı motor	MAN B&W 6L27/38A	Hyundai- 6H21/32	MAN B&W 6L27/38A	Wärtsilä 6L20DF	
Toplam güç (kW)	10.800	3.810 kW	21.600	10.800	5.000
Genel toplam (kW)	77.450	33.070 kW	116.200	92.800	22.500
Yakıt tipi	Marine Gas Oil (MGO)	Heavy Fuel Oil (HFO)	Heavy Fuel Oil (HFO)	Liquid Natural Gas (LNG)	Marine Diesel Oil (MDO)
<b>CO<sub>2e</sub> eşdeğeri cinsinden karbon ayak izi</b>	<b>2.561,5</b>	<b>1.377,7</b>	<b>5.169,5</b>	<b>3.918,6</b>	<b>6.075</b>

- iii. Enerji verimli motorlar: Yüksek verimli motorlar, daha düşük yakıt tüketimi sağlar. Motor seçiminde, düşük yakıt tüketimi ve emisyon değerlerinin göz önünde bulundurulması önem taşımaktadır.
- iv. Hibrit veya elektrikli güç sistemleri: Hibrit veya elektrikli güç sistemlerinin, yakıt tüketimini azaltmak ve emisyonları düşürmek için kullanılması uygundur. Bu sistemlerde, elektrikli motorlar veya enerji depolama sistemleri kullanılarak yakıt tüketimi optimize edilebilmektedir.
- v. Enerji geri kazanımı: Enerji geri kazanım sistemleri, bir gemide üretilen enerjinin tüketimi sırasında ortaya çıkan yüksek ısının geri kazanılmasını sağlar. Bu şekilde elde edilen enerji, başka sistemlerde kullanılarak yakıt tüketimi azaltılır. Bu sistemler, egzoz gazlarından veya soğutma suyundan elde edilen fazla ısıyı kullanarak elektrik enerjisi üretir veya diğer sistemlerde kullanır. Böylelikle yakıt tüketimi azaltılır.
- vi. Hidrojen ve yakıt hücreleri: Çok yeni bir teknoloji olsa da yakıt hücreleri ve hidrojen gibi temiz enerji kaynakları, deniz



taşımacılığında kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler, yakıt verimliliğini artırırken karbon emisyonlarını da azaltırlar.

- vii. Yelken destekli sistemler: Yelkenler, rüzgâr enerjisini kullanarak geminin itiş gücünü artırır ve motorun çalışma yükünü azaltır. Bu nedenle günümüzde çok az sayıda gemide yelken destekli sistemler kullanılarak yakıt tüketimi azaltılabilmektedir.

### 3.2 Temiz yakıt kullanımının yaygınlaştırılması

- i. Sıvılaştırılmış Doğal Gaz (Liquefied Natural Gas, LNG): LNG, doğal gazın sıvılaştırılmasıyla elde edilen bir yakıttır. LNG yakıtlı gemiler, deniz taşımacılığında kullanıldığında, karbon emisyonları önemli ölçüde düşürülür. LNG, düşük kükürt ve azot içeriğine sahip olduğundan, kükürtoksit (SO<sub>x</sub>) ve azotoksit (NO<sub>x</sub>) emisyonlarını etkili oranlarda azaltır. Ancak CO<sub>2</sub> ve partikül madde miktarını istenen seviyeye düşürememektedir. Dezavantajı ise her yerde bulunamama sorunu, ikmal prosedürlerinin henüz yaygınlaşmamış olması, sıvılaştırılmış bir gaz olarak riskler ihtiva etmesidir. LNG kullanımı diğer yakıt türlerine göre daha az artsa da 2030'da 25 milyon tona ulaşması beklenmektedir. 2030'dan sonra artık sektörde gemi yakıtı olarak fuel ve gaz hâkim olabilecektir. Fakat 2050'ye doğru durum, karbon emisyonlarının düşürülmesi kuralları ile LNG'nin de aleyhine dönecektir. Dolayısı ile LNG de bir geçiş dönemi ara model metodu ya da alternatifi olacaktır.
- ii. Biyoyakıtlar: Bu yakıtlar, bitkisel yağlar, atık yağlar veya biyokütle gibi yenilenebilir kaynaklardan üretilen yakıtlardır. Deniz taşımacılığında biyodizel ve biyometanol gibi biyoyakıtlar kullanılabilir. Bu yakıtlar, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon emisyonlarına sahiptir ve mevcut gemi motorlarında kullanılabilir. Bu yakıtlar, fosil yakıtlara kıyasla daha düşük karbon emisyonlarına sahiptir ve mevcut gemi motorlarında kullanılabilir.
- iii. Hidrojen: Hidrojen, temiz bir enerji kaynağıdır ve yanma sonucunda sadece su elde edilir. Deniz taşımacılığında hidrojen yakıt hücreleri kullanılarak elektrik enerjisi üretilebilir. Hidrojen yakıt hücreleri, elektrikli tahrik sistemlerine güç sağlar ve sıfır emisyonlu çalışma gerçekleştirir; ancak henüz gelişmekte olan bir teknolojidir.

- iv. Amonyak: Amonyak, yüksek enerji yoğunluğu ve depolama kolaylığı nedeniyle bir alternatif yakıt olarak değerlendirilmektedir. Deniz taşımacılığında amonyak, yakıt hücreleri veya içten yanmalı motorlarla kullanılabilir. Amonyakın yanması sonucunda sadece azot ve su oluşur, bu da düşük emisyonlu bir yakıt olduğunu göstermektedir.

Yukarıda ifade edilen temiz yakıt türleri, deniz taşımacılığında karbon ayak izini azaltmak için kullanılan önemli seçeneklerdir. Bunların yanı sıra, bazı gemilerde hibrit güç sistemleri kullanılarak temiz yakıtlarla kombinasyon oluşturulabilir. Örneğin, LNG ile çalışan bir ana motor ve batarya destekli elektrikli yardımcı motorlar aracılığıyla bir tahrik sistemi kullanılabilir.

Pratik uygulamalar açısından, dünya çapında birçok deniz taşımacılığı şirketi temiz yakıt kullanımına yönelik adımlar atmaktadır. Örneğin, LNG yakıtlı gemilere yatırım yapılırken, biyoyakıtların kullanımı teşvik edilmekte ve hidrojen teknolojileri üzerinde çalışmalar sürdürülmektedir. Ayrıca, çevre dostu yakıt kullanımını artırmak için teşvikler ve düzenlemeler de uygulanmaktadır.

Bu uygulamalar ve özellikle IMO tarafından gerçekleştirilen düzenlemeler, deniz taşımacılığı sektöründe temiz yakıt kullanımının yaygınlaşmasına ve karbon emisyonlarının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Deniz taşımacılığına ilişkin olarak uluslararası mevzuatlarda yapılan düzenlemeler, teknolojik gelişmeler ve sektördeki yeniliklerle birlikte, temiz yakıt kullanımı daha da yaygınlaşacak ve çevresel açıdan sürdürülebilirlik sağlanacaktır.

### 3.3 Hız Optimizasyonu

Belirli uygulamalar, deniz taşımacılığı sektöründe hız optimizasyonunu sağlamak için kullanılmaktadır. Hız optimizasyonu, yakıt tüketimini azaltarak zararlı gaz salınımlarını sınırlarken, operasyonel maliyetleri de etkili oranlarda düşürmektedir.

- i. Rota planlaması: Hız optimizasyonu için rota planlaması çok önemlidir. Rotanın rüzgâr, akıntı ve hava/deniz koşulları gibi

- faktörler dikkate alınarak planlanması, varış süresini kısaltırken en düşük yakıt tüketimini de hedefler.
- ii. Seyir hızı kontrolü: Gemilerde seyir hızı kontrolü, yakıt tüketimini optimize etmek için önemlidir. Gemi operatörleri, yakıt tüketimi verilerine dayanarak en ekonomik seyir hızını belirler. Bu önlem, geminin hızını sınırlar içinde tutarak yakıt verimliliğini artırır.
  - iii. Hız sensörleri ve izleme sistemleri: Hız optimizasyonu için gemilerde hız sensörleri ve izleme sistemleri kullanılır. Bu sistemler, gerçek zamanlı olarak geminin hızını ve performansını izler ve operatörlere yakıt tüketimi ve seyir hızıyla ilgili veriler sağlar. Bu veriler, hızı optimize etmek ve gerektiğinde ayarlamalar yapmak için kullanılır.
  - iv. Yavaş istifleme (slow steaming): Bu uygulama, gemilerin normal seyir hızından daha düşük bir hızda seyretmesidir. Yöntem, yakıt tüketimini azaltarak yakıt verimliliğini etkili oranda artırır. Ancak, bu durumda seyahat süresi uzar; bu nedenle operatörler maliyet ve zaman faktörlerini dikkate almak zorunda kalır.
  - v. Hava direncini azaltan tasarımlar: Gemi tasarımlarında hava direncini azaltan iyileştirmeler yapılarak hız optimizasyonu sağlanabilir. Pürüzsüz gövde tasarımları, düşük profile sahip köprü yapıları ve olumsuz aerodinamik etkileri azaltan üst yapı formları, hava direncini azaltarak daha düşük yakıt tüketimi sağlamaktadır.

### **3.4 Liman Verimliliğinin Artırılması**

Liman operasyonlarında verimliliğin artırılması, gemilerin çok daha kısa sürede yükleme-boşaltma alanına yanaşmasını sağlar ve liman içindeki bekleme sürelerini azaltır. Böylelikle, yakıt tasarrufu ve zararlı gaz emisyon azaltımı sağlanır (Danışman ve Özalp, 2016). Liman işletmecileri ve ilgili paydaşlar, bu yöntemleri uygulayarak çevresel sürdürülebilirliği artırabilir ve deniz taşımacılığının çevresel etkilerini azaltabilir.

- i. Kıyı Elektrifikasyonu (Cold Ironing): Kıyı elektrifikasyonu, gemilerin limanlara yanaştığında, kendi yardımcı makinelerini ve jeneratörlerini kapatıp kıyıda sağlanan elektrikle enerji ihtiyaçlarını karşılamasıdır. Bu sayede gemi egzoz emisyonları sıfıra indirilebilir.

- Limanlarda kıyı elektrifikasyon altyapısının geliştirilmesi, gemilerin düşük emisyonlu enerji kaynaklarına erişmesini sağlamaktadır.
- ii. Akıllı Liman Yönetimi: Akıllı liman yönetim sistemleri, liman yakınındaki ve limandaki gemi trafiğini optimize eder, gemilerin daha düşük hızlarda seyretmelerini sağlar ve liman operasyonlarını daha verimli hale getirir. Böylelikle, yakıt tüketimi ve emisyonlar azaltılır. Akıllı konteyner takibi, akıllı rotalama ve akıllı liman lojistiği gibi teknolojiler, limanlarda karbon ayak izinin azaltılmasına katkıda bulunur.
  - iii. Sürdürülebilir Yakıt Tedariki: Limanlarda, LNG veya biyoyakıtlar gibi temiz yakıtların gemilere tedarik edilmesi teşvik edilmek zorundadır. Limanlar, temiz yakıtların depolanması ve dağıtımı için altyapı sağlayarak, gemilerin daha çevre dostu yakıtlar kullanmasını desteklemeye yardımcı olmalıdır.

### 3.5 Sektörel İşbirliği, Eğitim ve Farkındalık

Daha sürdürülebilir ve çevre dostu bir deniz taşımacılığı sektörü oluşturulabilmek amacıyla aşağıdaki önlemlerden yararlanılmalıdır.

- i. Sektörel İşbirliği: Deniz taşımacılığı sektöründe faaliyet gösteren liman işletmecileri, armatörler, lojistik şirketleri, sınıflandırma kuruluşları ve hükümetler arasında işbirliği büyük önem taşır. Ortak hedefler belirlenerek, emisyon azaltma stratejileri geliştirilebilir ve uygulanabilir. Sektör paydaşları bir araya gelerek deneyim paylaşımı yapabilir, en iyi uygulamaları benimseyebilir ve teknolojik gelişmeleri destekleyebilir.
- ii. Regülasyonlar: Uluslararası Denizcilik Örgütü (IMO) gibi kuruluşlar, deniz taşımacılığında karbon ayak izini azaltmak için çeşitli regülasyonlar geliştirmekte ve uygulamaktadır. Örneğin, IMO'nun Küresel Kükürt Oksit (SO<sub>x</sub>) Emisyonları Kontrolü, Enerji Verimliliği Tasarım Endeksi (EEDI) ve Enerji Verimliliği İşletme Endeksi (EEOI) düzenlemeleri, gemilerin daha çevre dostu ve enerji tüketimi açısından daha verimli çalışmasını sağlamayı hedeflemektedir.

- iii. Eğitim ve Farkındalık: Deniz taşımacılığındaki karbon emisyonunu azaltma çabalarının başarılı olması için eğitim ve farkındalık önemlidir. Gemi personeli, gemi kaptanları, işletme mühendisleri ve liman çalışanlarına karbon salınımını azaltma konusunda eğitimler verilebilir. Ayrıca, sektör içinde farkındalık kampanyaları düzenlenerek, deniz taşımacılığının çevresel etkileri ve karbon ayak izi konularındaki hassasiyet artırılarak, bu konu hakkındaki bilinç seviyesi yükseltilebilir.
- iv. Teknolojik İlerlemeler: Deniz taşımacılığı sektöründe gerçekleşen teknolojik ilerlemeler, karbon ayak izini azaltmak için önemli bir faktördür. Yakıt tasarruflu ve enerji verimliliği yüksek gemi motorları, hibrit ve elektrikli gemi sistemleri, otomatik konteyner taşıma sistemleri gibi yenilikçi teknolojilerin geliştirilmesi ve uygulanması hedefe ulaşmayı sağlayacak araçlardır. Sektöre yatırım yaparak, teknolojik gelişmelere öncülük eden şirketler desteklenerek, diğer şirketlere örnek olması sağlanmalı ve böylelikle sektör genelinde karbon salınımını azaltma çalışmaları güçlendirilerek hızlandırılmalıdır.

## **SONUÇLAR**

Bu çalışmada, farklı gemi tiplerinde karbon ayak izinin hesaplanması ve karbon salınımının azaltılması için yapılan çalışmaların değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Öncelikle belirlenen gemi tiplerinin karşılaştırılabilmesi için ilgili gemilerin aynı rota üzerindeki yakıt tüketimlerinin hesaplanması gerçekleştirilmiş, daha sonra da gerçek zamanlı ve kesin verilere dayanan ve bu nedenle genellikle daha gerçekçi sonuçlar veren “yakıt tüketimine dayanan emisyon tahmin yöntemi” kullanılarak gemilerin ayak izleri belirlenmiştir.

İzleyen aşamada, seçilen gemi tiplerinin hesaplanan karbon ayak izini azaltmaya yönelik olarak, yakıt verimliliğini, “temiz yakıt” kullanımını, hız optimizasyonunu, limanların verimliliğinin artırılmasını ve sektörel işbirliği ile eğitimi içeren bir dizi çözüm önerisi sunulmuştur.

Bundan sonraki aşamada, gemi tipleri arasındaki enerji verimliliği farklarının belirlenmesi ve bu farkların nedenleri hakkında analizlerin

yapılması ve izleyen aşamada gemi işletme firmalarına yönelik olarak enerji verimliliğini artırıcı somut önerilerin sunulması gelmektedir. Enerji verimliliğini artırıcı önerilerin kabul edilmesi, gemi işletme firmalarının yakıt maliyetlerinde önemli miktarda azalmalar gerçekleştireceğinden bu konuda önemli bir teşvik unsuru olması beklenmektedir.

Sonuç olarak enerji verimliliğini artırıcı önerilerin gemi işletme firmaları tarafından kabul edilmesi durumunda, önemli miktarda yakıt tasarrufu ve karbon salımının azaltılması ve bu tip çevre dostu uygulamaların yaygınlaşması ile sera gazları salımının azaltılması ve bunun sonucunda da iklim değişikliğiyle mücadeleye önemli bir katkı sağlanması beklenmektedir. Bu çözümler, gemi inşa endüstrisinde ve deniz taşımacılığında sürdürülebilirliğe yönelik önemli adımlar olarak değerlendirilebilir.

## KAYNAKÇA

- Azzam, (2013). 22.12.2024 . <https://www.ship-technology.com/projects/azzam-superyacht/?cf-view> .
- Bilgili L., (2013), “Kuru yük gemileri için yaşam döngüsü analizinde (LCA), yıllık emisyon ayakizi hesabı ve ana parametrelere bağlı emisyon tahmini yaklaşımı”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Danışman İ.K., Özalp, A. G., (2016), “Karbon ayak izinin azaltılmasında yeşil liman uygulamasının rolü: Marport örneği” DEÜ Denizcilik Fakültesi Dergisi, 8, 99-166.
- IMO, (2020), Fourth IMO GHG Study 2020
- MSC Gülsün, (2019). 22.12.2024 09.05.2023, <https://vesselregister.dnv.com/vesselregister/details/39594>
- MS Ore Brasil, (2011). 22.12.2024 09.05.2023, <https://vesselregister.dnv.com/vesselregister/details/30616>
- Pioneering Spirit, (2016). 22.12.2024 09.05.2023, <https://www.ship-technology.com/projects/pioneering-spirit-heavy-lift-construction-vessel/?cf-view>"<https://www.ship-technology.com/projects/pioneering-spirit-heavy-lift-construction-vessel/?cf-view>
- Türk Boğazları Gemi Geçiş İstatistikleri, (2022), 14.06.2023, <https://denizcilikistatistikleri.uab.gov.tr/turk-bogazlari-gemi-gecis-istatistikleri>.
- Wonder of The Seas, (2022). 22.12.2024 -, <https://www.ship-technology.com/projects/wonder-of-the-seas-cruise-ship/?cf-view>"<https://www.ship-technology.com/projects/wonder-of-the-seas-cruise-ship/?cf-view>
- World Greenhouse Gas Emissions, (2019), 14.06.2023, <https://www.wri.org/data/world-greenhouse-gas-emissions-2019>.
- World Resources Institute (WRI) 2019.



**ISBN: 978-625-378-117-0**