

# Journal of Quantum Technologies and Informatics Research

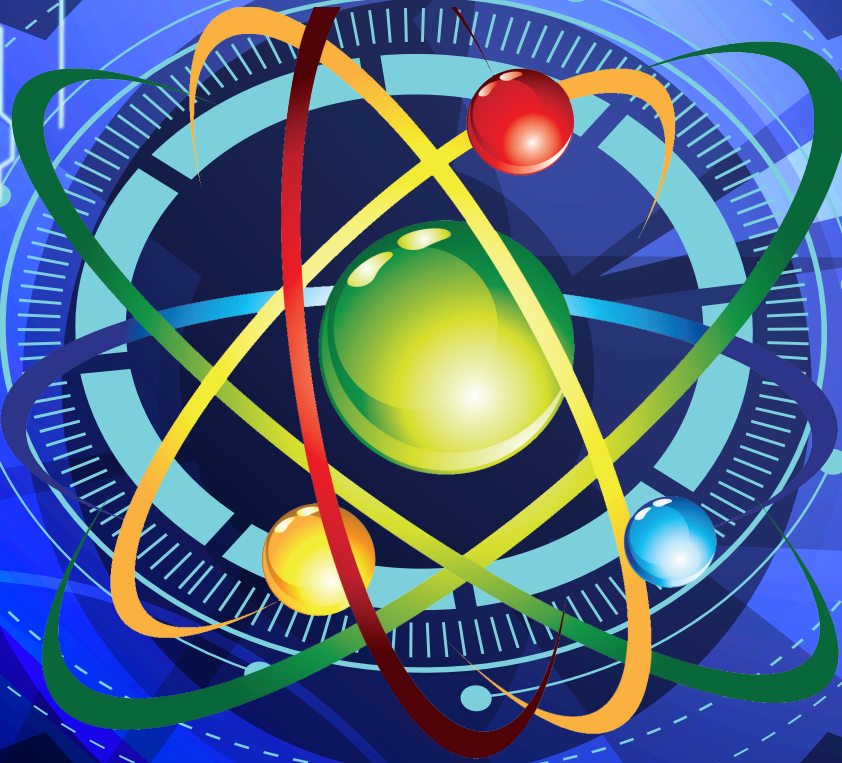
International Peer-Reviewed and Open Access Electronic Journal

Uluslararası Hakemli ve Açık Erişimli Elektronik Dergi



Journal of Quantum Technologies  
and Informatics Research

**JQTAIR**



**HOLISTENCE**  
publications

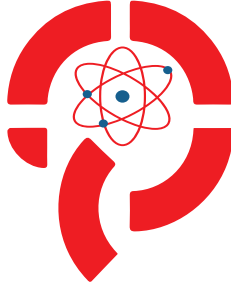
<https://journals.gen.tr/index.php/jqtair/>

ISSUE

**2**

VOLUME/CILT: 2  
YEAR/YIL: 2024





Journal of Quantum Technologies  
and Informatics Research

**JQTAIR**

E-ISSN: 3023-4735

DOI: 10.70447/ktve

International Peer-Reviewed and Open Access Electronic Journal  
Uluslararası Hakemli ve Açık Erişimli Elektronik Dergi

Volume/Cilt: 2

Issue/Sayı: 2

Year/Yıl: 2024

E-posta: jqtair@gmail.com

Web: <https://journals.gen.tr/index.php/jqtair/>

İletişim: Adres: Anafartalar Yerleşkesi, B2 Blok, Oda No: 8,  
Çanakkale, Türkiye



**HOLISTENCE**  
publications

*"This page is left blank for typesetting"*



**HOLISTENCE**  
publications

*Bu sayfa dizgiden dolayı boş bırakılmıştır*

## EDİTÖR'den

Değerli Okuyucular,

Kuantum teknolojileri ve enformatik alanlarında her geçen gün yaşanan ilerlemeler, bilgi teknolojilerinin geleceğine dair umut verici bir yol haritası çizmektedir. KTEAD ile, yapay zeka, kuantum bilişim, makine öğrenimi ve algoritma analizleri gibi önemli konularda son gelişmeleri ve araştırmaları sizlerle buluşturmanın heyecanını yaşıyoruz. İkinci cildimizin bu ikinci sayısında, size ulaştırdığımız dört çalışma ile, akademik dünya, ve sağlık araştırmaları başta olmak üzere iğnizi çekeceğini umduğumuz kapsamlı bir içeriği sunuyoruz.

**\*Yapay Zeka Tabanlı Uzaktan Eğitimde Etkileşim Tasarımı: Öğrenci Başarısını Artırmak için Yeni Yaklaşımlar\***

Dargut- Güler (2024) çalışmasında uzaktan eğitimi ele alarak, yapay zeka etkileşim özelliklerinin uzaktan eğitim etkileşim türlerindeki rolünü ve bu bağlamda yapay zeka destekli uzaktan eğitimde etkileşim tasarımını incelemiştir. Çalışmada öncelikle yapay zeka etkileşim özellikleri (Doğal Dil İşleme (NLP) ve Sohbet Botları, Görüntü ve Ses Tanıma, Veri Analizi ve Karar Verme, Gelişmiş Kişiselleştirme ve İçerik Üretimi) tanıtılmış ve sonrasında uzaktan eğitimdeki öğrenci-öğrenci, öğrenci-öğretmen, öğrenci-içerik ve öğrenci-arayüz etkileşimlerinin bu yapay zeka destekli özelliklerle nasıl bütünleştirilebileceği tartışılmıştır.

**\*Kuantum Çağında Hukuk\***

Aydın (2024) hukuk alanında özellikle de hesaplamalı hukuk alanında kuantum teknolojilerinden ne şekilde yararlanılabileceğini, hukuki bilinmezliğin matematiksel olarak hesaplanmasının önemini insan beyni ve kuantum bilgisayarlar arasındaki benzerlik ve kuantum teknolojilerinin risklerini açıklamaktadır.

**\*PSO ve BA Algoritmalarının Farklı Test Fonksiyonları Üzerinde Karşılaştırmalı Analizi\***

Işıklı ve Köse (2024) çalışmalarında, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Yarasa Algoritması (BA) gibi doğadan ilham alan optimizasyon algoritmalarının performanslarını çeşitli test fonksiyonları üzerinde karşılaştırmışlardır. Yaptıkları analizlerde, her iki algoritmanın farklı test fonksiyonları üzerindeki performansını değerlendirmişlerdir.

## \*Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Ses Verilerinde Hastalık Tespiti\*

Çokay ve Şahin (2024) sundukları çalışmada Saarland Üniversitesi Fonetik Enstitüsü tarafından oluşturulan Saarbruecken veri tabanından elde edilen ses verilerini kullanılmışlardır. Reinke ödemi olan, larenjit, kanser ya da kanser öncesi lekelenme tanısı bulunan, polip, ses teli felçli ve sağlıklı hastalardan oluşan toplamda 652 kişiye ait ses verisi üzerinde k-En Yakın Komşu, Naive Bayes, Karar Ağacı, Destek Vektör Makinesi, Rassal Orman olarak beş farklı makine öğrenme algoritmasıyla sınıflama yaparak elde ettikleri sonuçları karmaşıklık matrisi kullanarak değerlendirmiş ve hastalıklı-sağlıklı ses ayırımında başarılı sonuçlar elde etmişlerdir.

Değerli okuyucularımız, bu sayımızda sunulan makaleler, kuantum teknolojileri ve enformatik araştırmaları alanındaki son gelişmeleri ve yenilikleri kapsamlı bir şekilde ele almaktadır. Amacımız, akademik araştırmaları desteklemek ve bu alandaki bilginin yayılmasına katkıda bulunmaktır. Sizleri, bu sayımızdaki makaleleri okumaya ve alanınızdaki yeni gelişmeleri keşfetmeye davet ediyoruz.

Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları Dergisi olarak, araştırmacılar, akademisyenler ve sektör profesyonelleri için değerli bir kaynak olmayı hedefliyoruz. Bu yolda, sizlerin de katkılarıyla, bilimin ve teknolojinin ilerlemesine birlikte katkıda bulunacağımıza inanıyoruz.

Saygılarımızla,

**Prof. Dr. Emin Ulugergerli**

Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları Dergisi Editörü

## Hakemler

**Dr. Seda Özer Şanal,**  
Fırat Üniversitesi

**Prof. Dr. Yusuf Yiğit,**  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

**Dr. Ersin Büyük,**  
Gümüşhane Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Fulya Torun,**  
Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

**Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Yıldırım,**  
Gedik Üniversitesi

**Prof. Dr. Çağlayan Balkaya,**  
Süleyman Demirel Üniversitesi

**Doç. Dr. Samet Memiş,**  
Bandırma Onyedli Eylül Üniversitesi

**Öğr. Gör. Dr. Ercan Çağlar,**  
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

# EDITORS/EDİTÖRLER

## **Sahibi ve Yayıncı**

Dr. Cumali YAŞAR

## **Editör**

Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ

## **Yayın Kurulu**

*Prof. Dr. İdris KABALCI*

*Prof. Dr. Eden Mamut*

*Prof. Dr. Emin Uğur ULUGERGERLİ*

*Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN*

*Prof. Dr. Mehmet Emin ÖZEL*

*Doç. Dr. Can AKTAŞ*

*Doç. Dr. Uğur ERCAN*

*Dr. Öğr. Üyesi Sevdanur GENÇ*

*Dr. Öğr. Üyesi Bayram KÖSE*

*Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Zahid KÜÇÜK*

*Dr. Öğr. Üyesi Sevgi DEMİRCİOĞLU*

*Dr. Ceren ÖCAL TAŞAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Samet MEMİŞ*

*Öğr. Gör. Dr. Cumali YAŞAR*

*Dr. Öğr. Üyesi Veli Özcan BUDAK*

*Dr. Ali ÇİMEN*

## **Teknik Destek**

*Cumali Yaşar*

## **Dergi Tasarımı**

*İlknur Hersek Sarı*

**İletişim:** Anafartalar Yerleşkesi,

B2 Blok, Oda No: 8, Çanakkale, Türkiye

Telefon: 5052423644

E-posta: jqtair@gmail.com

Web: <https://journals.gen.tr/index.php/jqtair/>



# CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Baş Editörden	III
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Yapay Zeka (AI) Tabanlı Uzaktan Eğitimde Etkileşim Tasarımı: Öğrenci Başarısını Artırmak için Yeni Yaklaşımlar <i>Interaction Design in Artificial Intelligence (AI) Based Distance Education: New Approaches to Improve Student Success</i>	51
Tülay Dargut Güler	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Ses Verilerinde Hastalık Tespiti <i>Disease Detection in Audio Data by Using Machine Learning Algorithms</i>	61
Duygu Çokay & Engin Şahin	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
Kuantum Çağında Hukuk <i>Law in the Quantum Era</i>	73
Celal Aydın	
RESEARCH ARTICLE / ARAŞTIRMA MAKALESİ	
PSO ve BA Algoritmalarının Farklı Test Fonksiyonları Üzerinde Karşılaştırmalı Analizi <i>Comparative Analysis of Particle Swarm Optimization and Bat Algorithm on Various Test Functions</i>	87
İbrahim Işıklı & Bayram Köse	

*“This page is left blank for typesetting”*



**HOLISTENCE**  
publications

*Bu sayfa dizgiden dolayı boş bırakılmıştır*

# Yapay Zeka (AI) Tabanlı Uzaktan Eğitimde Etkileşim Tasarımı: Öğrenci Başarısını Artırmak için Yeni Yaklaşımlar

## *Interaction Design in Artificial Intelligence (AI) Based Distance Education: New Approaches to Improve Student Success*

Tülay Dargut Güler 

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilgisayar ve Öğretim Teknolojileri, Eğitim Bölümü, Türkiye, e-mail: [tdargut@comu.edu.tr](mailto:tdargut@comu.edu.tr)

Öz

Yapay zeka teknolojileri her alanda olduğu gibi eğitim alanında da devrim niteliğinde dönüşümler yaratma potansiyeline sahiptir. Hem geleneksel yüz yüze eğitimde hem de uzaktan eğitimde etkilerinin büyük oranda hissedileceği yapay zekanın öğrenme süreçleri ile nasıl bütünleştirilebileceğine yönelik yapılacak araştırmalar, öğretmenler ve öğrencilerin bu dönüşüme daha hazır bir şekilde girebilmeleri açısından önemli olacaktır. Bu makalede de uzaktan eğitim boyutu ele alınarak, yapay zeka etkileşim özelliklerinin uzaktan eğitim etkileşim türlerindeki rolünün ve bu bağlamda yapay zeka destekli uzaktan eğitimde etkileşim tasarımının incelenmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada öncelikle yapay zeka etkileşim özellikleri (Doğal Dil İşleme (NLP) ve Sohbet Botları, Görüntü ve Ses Tanıma, Veri Analizi ve Karar Verme, Gelişmiş Kişiselleştirme ve İçerik Üretimi) tanımlanmış ve sonrasında uzaktan eğitimdeki öğrenci-öğrenci, öğrenci-öğretmen, öğrenci-içerik ve öğrenci-arayüz etkileşimlerinin bu yapay zeka destekli özelliklerle nasıl bütünleştirilebileceği tartışılmıştır. Sonuç olarak yapay zeka etkileşim özellikleri ile uzaktan eğitimdeki etkileşimlerin daha dinamik, etkili ve kişiselleştirilmiş bir forma dönüştürülebilir ve böylece hem öğretmenlerin iş yükünü azaltabilen hem de öğrencilere çok daha zengin ve gelişmiş etkileşim süreçleri sunabilen tasarım önerileri sunulmuştur. Bu teknolojilerin başarılı bir şekilde entegre edilmesi, öğrencilerin motivasyonunu ve katılımını artırarak, öğrenme sürecini daha verimli hale getirebilir ve akademik başarıyı yükseltebilir.

**Anahtar kelimeler:** Yapay Zeka, Yapay Zeka Etkileşim Özellikleri, Uzaktan Eğitim, Uzaktan Eğitimde Etkileşim

**Citation/Atf:** DARGUT GÜLER, T. (2024). Yapay Zeka (AI) Tabanlı Uzaktan Eğitimde Etkileşim Tasarımı: Öğrenci Başarısını Artırmak için Yeni Yaklaşımlar. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 2(2): 51-60, DOI: [10.70447/ktve.2464](https://doi.org/10.70447/ktve.2464)

**Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:**  
Tülay Dargut Güler  
E-mail: [tdargut@comu.edu.tr](mailto:tdargut@comu.edu.tr)



Bu çalışma, Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

## Abstract

Artificial intelligence technologies have the potential to create revolutionary transformations in the field of education as in every field. Research on how to integrate artificial intelligence with learning processes, the effects of which will be felt both in traditional face-to-face education and distance education, will be important for teachers and students to be more ready for this transformation. In this article, it is aimed to examine the role of artificial intelligence interaction features in distance education interaction types and in this context, interaction design in AI-supported distance education. In the study, firstly, artificial intelligence interaction features (Natural Language Processing (NLP) and Chat Bots, Image and Voice Recognition, Data Analysis and Decision Making, Advanced Personalisation and Content Generation) are introduced and then it is discussed how student-student, student-teacher, student-content and student-interface interactions in distance education can be integrated with these artificial intelligence supported features. As a result, design proposals are presented that can transform the interactions in distance education into a more dynamic, effective and personalised form with artificial intelligence interaction features, thus reducing the workload of teachers and providing students with much richer and more advanced interaction processes. Successful integration of these technologies can increase students' motivation and engagement, make the learning process more efficient and increase academic achievement. In the future, further research examining the effectiveness and efficiency of AI-supported interaction design will pave the way for more successful and satisfying learning experiences in distance education.

**Keywords:** Artificial Intelligence, Artificial Intelligence Interaction Features, Distance Education, Interaction in Distance Education

## 1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin hızla gelişmesi ve yaygınlaşması ile birlikte eğitim süreçlerinde de yeni yaklaşım ve modellerin yer almaya başladığı söylenebilir. Uzaktan eğitim de her ne kadar eğitim dünyasında yeni bir yaklaşım olmasa da günümüzde dijital teknolojilerin yaygınlaşması ile gelişmeye ve yaygınlaşmaya başlamıştır. Dolayısıyla, uzaktan eğitimde öğrenme süreçlerinin başarılı olabilmesini sağlayacak gerekliliklerin araştırılması ve uygulanması giderek daha fazla önem kazanmıştır. Öğrenme süreçlerindeki başarı açısından kritik bir rol oynayan bu gerekliliklerde bir tanesi de uzaktan eğitimdeki etkileşimlerin niteliği ve etkinliğidir. Geleneksel olarak tanımlanan yüz yüze eğitim modellerinde olduğu gibi, uzaktan eğitim süreçlerinde de öğrencilerin hem öğretmenler ve diğer öğrencilerle etkileşimleri hem de içerik ve öğrenme materyalleri ile etkileşimleri öğrenme deneyimlerinin kalitesini belirleyen temel unsurlar olarak ifade edilebilir.

Uzaktan eğitim öğrenci ve öğretmenin fiziksel olarak farklı yerlerden, eş zamanlı ya da farklı zamanlarda eğitim-öğretim süreçlerine katılabil-

dikleri bir eğitim modelidir (Keegan, 1996). Dolayısıyla uzaktan eğitimde öğrencilerin fiziksel etkileşimleri sınırlı olduğu için, teknolojinin sağladığı tüm olanaklardan yararlanılarak, öğrenmede kritik öneme sahip etkileşim süreçlerinin (Anderson ve Simpson, 2012) yeniden tasarlanması ve geliştirilmesi gerekmektedir. Uzaktan eğitimde etkileşim, öğrencilerin öğrenme süreçlerindeki başarılarını, motivasyonlarını ve eğitime devam etme durumlarını etkileyen önemli bir etken olarak ifade edilmektedir (Wang vd., 2014; Xiao, 2017; Topal vd., 2022; Batur, 2022). Uzaktan eğitimde etkileşime önem verilmediğinde ve iyi tasarlanmadığında öğrencilerin eğitim alırken en fazla etkileşim sorunlarından şikayetçi olduğu ve bunun öğrenme süreçlerini olumsuz etkilediği görülmektedir (Kaysi ve Aydemir, 2017; Aydemir vd., 2022).

Yapay zeka (AI) teknolojileri bu bağlamda güçlü araçlar sunmaktadır. Yapay zeka destekli teknolojiler sayesinde uzaktan eğitimde öğrenci-öğrenci, öğrenci-öğretmen, öğrenci-içerik ve öğrenci-materyal etkileşimleri daha dinamik ve kişiselleştirilmiş bir şekilde sağlanarak öğrenme süreçleri zenginleştirilebilir ve etkililiği artırılabilir. Örneğin, öğrencilerin öğrenme davranışları-

nı analiz edebilen yapay zeka algoritmaları sayesinde kişiselleştirilmiş içerikler ve materyaller sunulabilir. Bunun yanı sıra öğrencilerin ihtiyaç duydukları anda destek alabilecekleri, sordukları sorulara anlık dönütler alabilecekleri ve onlara bireysel geri bildirimler sağlayabilecek yapay zeka destekli asistanlar ile uzaktan eğitimdeki etkileşim süreçleri geliştirilebilir. Dolayısıyla bu makale, yapay zeka etkileşim özelliklerinin uzaktan eğitim etkileşim türlerindeki rolünü ve bu bağlamda yapay zeka destekli uzaktan eğitimde etkileşim tasarımını incelemeyi amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda öncelikle yapay zeka destekli etkileşim özellikleri ve bunların nasıl çalıştığına yönelik bilgilendirme yapılacak, sonrasında uzaktan eğitimdeki farklı etkileşim türlerinin (öğrenci-öğrenci, öğrenci-öğretmen, öğrenci-içerik, öğrenci-arayüz) yapay zeka destekli etkileşim özellikleri ile nasıl bütünleştirilebileceği tartışılacaktır. Sonuç olarak, AI tabanlı etkileşim tasarımının uzaktan eğitimde öğrenci başarısını artırma potansiyeli değerlendirilerek, bu alandaki mevcut zorluklar ve gelecekteki araştırma fırsatları vurgulanacaktır. Yapay zeka teknolojilerinin eğitimdeki rolünün giderek arttığı bu dönemde, bu tür yenilikçi yaklaşımlar, eğitimde mükemmeliyet ve erişilebilirlik hedeflerine ulaşmada önemli bir adım olarak görülmektedir.

## 2. YAPAY ZEKA DESTEKLİ ETKİLEŞİM ÖZELLİKLERİ

İnsanlarla ya da farklı sistemlerle etkileşim kurmak, insan-makine etkileşimini daha verimli, hızlı ve kullanıcı dostu haline getirmek için yapay zekadan yararlanmak hızla yaygınlaşmakta ve çeşitlenmektedir. Yapay zeka destekli etkileşim özellikleri farklı birçok alanda ve teknolojide kullanılabilir. Bu etkileşim özellikleri aşağıda belirtildiği gibi çeşitlendirilebilir:

### 2.1. Doğal Dil İşleme (NLP) ve Sohbet Botları

Doğal dil işleme yöntemi (NLP), insan dilinin makineler tarafından anlaşılmasını, yorumlanmasını ve kullanılmasını yani öğrenilmesini sağlayan yapay zeka destekli bir yöntem olarak tanımlanabilir. NLP, metin ya da konuşma yoluyla alınan verilerde dilin yapısını anlamak, dilbilgisi kurallarını tanımlamak ve sözcüklerin anlamlarını çıkarmak gibi işlevleri gerçekleştirir (Zhou vd., 2020; Toğaçar vd., 2022). NLP destekli sohbet

botları da NLP tekniklerini kullanarak insan benzeri etkileşimlerde bulunabilen uygulamalar olarak ifade edilebilir. Bu destek ile öğrenme ve adaptasyon yetenekleri bulunan sohbet botları daha esnek ve akıllıdır. Böylece sistemi kullanan kişilerden gelen verileri anlayarak onlara uygun özel yanıtlar üretebilecek şekilde gelişim gösterirler. Sürekli gelişen teknolojiler sayesinde müşteri hizmetleri, satış ve pazarlama, eğitim, eğlence sağlık gibi çok çeşitli alanlarda sohbet botlarının kullanımı daha da yaygınlaşmaktadır.

### 2.2. Görüntü ve Ses Tanıma

Görüntü ve ses tanıma özellikleri yapay zeka tekniklerinin kullanılarak dijital görüntülerdeki insanların, nesnelerin, yerlerin tanımlanması ve sınıflandırılması ile insan sesinin ve konuşulan dilin anlaşılması, işlenmesi olarak ifade edilebilir (Tuvay ve Emetin, 2023; Soyhan vd., 2021; Aktürk, 2015; Büyük, 2018). Bu özellikler çeşitli alanlardaki kullanıcı doğrulama işlemleri, güvenlik sistemleri, çağrı merkezleri gibi uygulamalarda kullanılabilir. Görüntü işleme olarak da ifade edilen görüntü tanımanın kullanımları son yıllarda özellikle güvenlik sistemlerinde, askeri alanlarda, biyomedikal ve tıp alanlarında, tarım uygulamalarında, coğrafi bilgi sistemlerinde ve tasarım ve imalat uygulamalarında önemli oranda yaygınlaşmaya başlamıştır (Solak ve Altınışık, 2018).

### 2.3. Veri Analizi ve Karar Verme

Yapay zeka sistemleri veri madenciliği, makine öğrenimi ve derin öğrenme gibi çeşitli teknikleri kullanarak büyük miktarlardaki verileri işleyip analiz etme, sınıflandırma, kümeleme, bu verilerden anlamlı sonuçlar çıkarma, tahminlerde bulunma, kararlar verme ve hatta karmaşık problemleri çözebilmek gibi özelliklere sahiptir (Atalay ve Çelik, 2017; Şentürk, 2023). Dijitalleşme ile birlikte büyük veri oluşumu, bu verilerin kontrol edilmesini, düzenlenmesini, analiz edilmesini ve dolayısıyla doğru kararlar verilmesini zorlaştırmıştır. Bu doğrultuda güvenilir bir şekilde veri trafiğini kontrol etme ve hızlı kararlar verme noktasında yapay zeka teknolojilerinden bir çok alanda yararlanılmaya başlanmıştır (Ersöz ve Özmen, 2020; Şentürk, 2023). Örneğin sağlık alanında tanı ve tedavi süreçlerinde, finans alanında müşteri verilerini analiz etmede

ve risk değerlendirmesi yapmada ya da finansal piyasaları analiz ederek doğru kararlar vermede, perakende alanında yine müşteri verilerini analiz ederek alışveriş alışkanlıklarını belirlemede ya da piyasa analizi yaparak uygun fiyatlandırma stratejileri belirlemede, tarımda toprak, hava durumu, su kaynakları gibi verileri analiz ederek verimliliği artırmada, ulaşım alanında trafik verilerini analiz ederek uygun rotasyonlar geliştirmede, eğitimde ise öğrenci verilerini analiz ederek kişiselleştirilmiş öğrenme süreçleri tasarlamada ya da öğrenci değerlendirme süreçlerini yönetmede kullanılabilir.

#### 2.4. Gelişmiş Kişiselleştirme

Yapay zeka teknolojileri büyük veri analizi ile özellik çıkartma, makine öğrenimi, derin öğrenme ve doğal dil işleme tekniklerinden yararlanarak kullanıcı deneyimlerini, kişilerin kendi tercihlerine ve davranışlarına göre uyarlayarak gelişmiş bir kişiselleştirme özelliği sağlamaktadır. Bu özelliği ile yapay zekanın kullanıcı deneyimlerini önemli ölçüde iyileştirdiği, çeşitli alanlarda kullanıcılara çok daha etkili, verimli ve hedefe yönelik hizmetler sunulmasını sağladığı ifade edilebilir. Örneğin e-ticaret, dijital medya ve eğlence, sağlık ve spor, finans ve bankacılık, ulaşım ve seyahat, eğitim ve kariyer geliştirme gibi birçok alanda gelişmiş kişiselleştirme özelliğinin avantajlarından yararlanılarak kullanıcıların ihtiyaçlarına ve tercihlerine daha uygun çözümler sunulabilir (Öztürk vd., 2012; Chen vd., 2021; Tussyadiah, 2020; Chen vd., 2020; Guan vd., 2020). Yapay zekanın gelişmiş kişiselleştirme özelliği sayesinde kullanıcıların geçmiş etkileşimleri analiz edilerek, gerçekleştirdikleri eylemlere ya da taleplere hızlı ve uygun yanıtlar verilerek reaktif etkileşimler sunulabileceği gibi, onların henüz talep etmediği ihtiyaçlara yönelik tahminlerde bulunup uygun öneriler ya da hatırlatmalar yapılarak proaktif etkileşim olanakları da sunulabilir. Böylece kullanıcı ihtiyaçları ve beklentileri önceden tamini edilerek karşılanabilir ve deneyimleri daha kişiselleştirilmiş ve tatmin edici hale getirilebilir.

#### 2.5. İçerik Üretimi

Yapay zeka teknolojileri ile metin üretimi, hareketli-hareketsiz görüntü üretimi, ses ve müzik üretimi gibi çeşitli içeriklerin otomatik olarak

oluşturulması sağlanarak, birçok sektör zaman ve maliyet tasarrufu, kişiye özel içerik üretimi, yeni ve özgün içerikler ile yaratıcılığı teşvik etme gibi çeşitli avantajlara sahip olabilmektedir. Örneğin medya ve eğlence sektörlerinden biri olan Netflix kullanıcılarının beğeni algoritmaları doğrultusunda film afişlerini anlık olarak değiştirerek ya da farklı arayüz tasarımları sunarak kişiye özel içerik üretimi avantajından yararlanmakta ve böylece müşterilerine daha tatmin edici deneyimler sunmakta ve kullanıcı kitlesini artırmaktadır (Ardatürk, 2022). Bir başka sektör olan pazarlama sektöründe de yapay zeka destekli içerik üretimi özelliğinden yaygın bir şekilde yararlanılmaktadır. Örneğin sektörde çalışan pazarlamacılar görsel düzenleme konusunda yeterliğe sahip olmasalar da yapay zeka destekli görsel düzenleme uygulamaları kullanılarak zaman ve maliyet konusunda tasarruf sağlanabilir (Kumar, 2020). Sadece görsel üretmek değil, hedef müşterilerin ilgi ve ihtiyaçlarına özel, onların dil ve kültürel kriterlerine uygun yaratıcı reklam içerikleri oluşturmak için de yapay zeka araçlarından yararlanmak pazarlama alanında müşteri memnuniyetini artırabilir (Alkaddour, 2022). Yapay zekanın içerik üretimi özelliğinden en çok etkilenen sektörlerden birinin de gazetecilik olduğu söylenebilir. Günümüzde haber metinlerinin üretiminde yapay zeka uygulamalarının kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Gelgel, 2020). Yapay zeka teknolojilerindeki ilerlemeler devam ettikçe özellikle içerik üretme özelliğinin sağladığı avantajlara da bağlı olarak, bir çok alanda giderek daha fazla yaygınlaşacağı öngörülebilir.

Yapay zeka destekli etkileşim özellikleri görüldüğü gibi bir çok sektörde kullanıcılara daha etkili ve verimli deneyimler sağlayabilecek yenilikçi çözümler sunmaya katkı sağlayabilir. Doğal Dil İşleme (NLP) ve sohbet botları ile kullanıcıların daha doğal ve akıcı iletişim kurabilmesi sağlanırken; görüntü ve ses tanıma teknolojileri ile hem verimlilik hem de güvenliğin artırılması sağlanabilir. Yapay zeka teknolojileri veri analizi ve karar verme özelliği sayesinde büyük veri kümelerinin kontrolünü, analizini sağlamada ve böylece doğru kararların alınmasında yardımcı olabilirken, gelişmiş kişiselleştirme özelliği ile kullanıcıların ihtiyaçlarına, beklentilerine ve

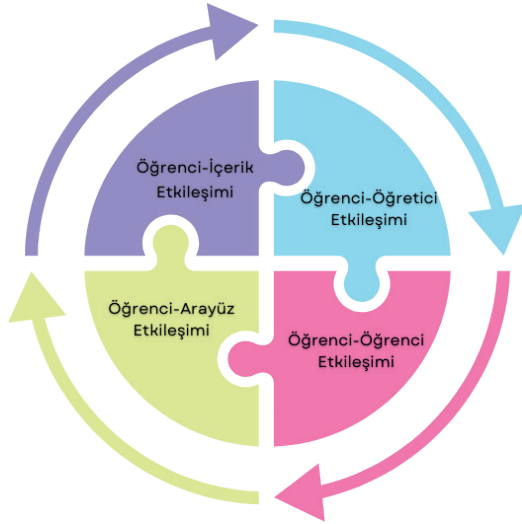


tercihlerine özel hizmetler sunulabilmesini sağlamaktadır. İçerik üretimi özelliği sayesinde de daha hızlı, yeni, özgün ve yaratıcı içerik oluşturma olanakları ile birçok alanda çeşitli avantajlar sunabilmektedir. Tüm bu etkileşim özellikleri ile yapay zekanın birçok sektörde olduğu gibi eğitim ve bu çalışma kapsamında özellikle ele alınan uzaktan eğitim sektöründe de önemli dönüşümler yaratması kaçınılmazdır.

### 3. YAPAY ZEKA İLE GÜÇLENDİRİLEN UZAKTAN EĞİTİM ETKİLEŞİM TÜRLERİ

Uzaktan eğitimde etkileşim türleri olarak öğrenci-içerik, öğrenci-öğretici ve öğrenci-öğrenci etkileşimleri olmak üzere üç tür etkileşimden bahsedilir (Moore, 1989). Bununla birlikte Hillman vd. (1994) uzaktan eğitimde öğrencilerin öğrenme süreçlerine katılmak için kullandıkları çeşitli teknolojiler ile gerçekleştirdikleri etkileşimi dikkate almada bu üç etkileşim türünün yetersiz kaldığını savunarak, öğrenci-arayüz etkileşimini de uzaktan eğitimdeki etkileşim türleri arasına eklemiştir. Dolayısıyla Şekil 1'de gösterildiği gibi uzaktan eğitim sistemi içerisinde öğrencilerin öğrenme sürecini doğrudan etkileyen birbiri ile ilişkili dört etkileşim türünden bahsedilebilir.

Şekil 1. Uzaktan eğitimde etkileşim türleri



#### 3.1. Öğrenci-İçerik Etkileşimi

Uzaktan eğitime katılan öğrencilerin çalıştıkları konuları ön bilgileri ile ilişkilendirerek bir anlam oluşturabilmeleri ve dolayısıyla anlayışlarında, bakış açılarında ve bilişsel yapılarında bir değişimin olabilmesi için içerik ile gerçekleştirdikleri etkileşim türü öğrenci-içerik etkileşimi olarak

ifade edilir (Moore, 1989; Abrami vd., 2011). Dolayısıyla öğrencilerin içerik ile etkileşimleri bir bakıma onları öğrenme süreçlerini ifade eder, yani öğrenmenin gerçekleşebilmesi için öğrencilerin içerik ile etkileşime girebilmiş olmaları gerekir. Öğrenci-içerik etkileşiminin en iyi şekilde gerçekleşebilmesinin diğer etkileşim türleri ile doğrudan ilişkili olduğu söylenebilir. Uzaktan eğitimde öğrenci-içerik etkileşiminin öğrencilerin yüksek düzeyde öğrenci memnuniyetinin bir yordayıcısı olduğu ifade edilmektedir (Chang ve Smith, 2008; Berg, 2020).

Uzaktan eğitimde öğrenci-içerik etkileşiminin daha etkili ve verimli hale getirilebilmesi için yapay zekanın etkileşim özellikleri ile bütünleştirilebilir. Bu doğrultuda yapay zeka etkileşim özelliklerinden doğal dil işleme ile güçlendirilen arama motorları kullanılarak öğrencilerin içerikler içerisinde belirli konuları ya da kavramları daha kolay bulmaları sağlanabilirken, öğrencilerin içerik hakkındaki geri bildirimlerinden olumlu olumsuz duygu analizi yapılarak içeriklerde iyileştirmeler yapılabilir. Bunun yanı sıra sohbet botları ile öğrencilerin içerik ile etkileşimleri sırasında anlık yardım ve açıklamalar sağlanarak etkileşimli içerikler sunulabilir. Yapay zekanın ses tanıma özelliği sayesinde öğrenci-içerik etkileşim esnasında öğrencilerin sesli komutlarla içeriklere erişmesi ya da ders içerikleri hakkında sesli notlar alabilmeleri sağlanarak daha etkileşimli ve kolay bir öğrenme deneyimi sunulabilir. Yapay zekanın veri analizi ve karar verme özelliği sayesinde öğrenme analitiği yapılarak öğrencilerin zorluk yaşadıkları konular tespit edilebilir ve gelişmiş kişiselleştirme ile onların ihtiyaçlarına, öğrenme hızlarına ya da öğrenme stillerine göre ek materyaller ya da içerikler ile desteklenebilir. Öğrencilerin kendi özelliklerine yönelik özel içerik ve materyaller oluşturmak da yapay zekanın içerik üretimi özelliği sayesinde gerçekleştirilebilir. Farklı türde öğrenme materyalleri ile içerikler çeşitlendirilerek öğrencilerin içerik ile etkileşimleri ve öğrenme deneyimleri geliştirilebilir. Bunun yanı sıra içerik üretimi özelliği ile yapay zeka tarafından interaktif ve etkileşimli içerikler (oyunlar, simülasyonlar, quizler vb.) otomatik olarak hazırlanabilir ve böylece öğrenciler içerikler ile daha aktif bir şekilde etkileşime girebilirler.

### 3.2. Öğrenci-Öğretici Etkileşimi

Uzaktan eğitimde öğrenci- öğretici etkileşimi, öğrencilerin öğretmenlerinden konu aktarımı, rehberlik, geribildirim almasını gerektirirken öğretmenlerin de öğrencilerin ilerlemelerini takip edip değerlendirmelerini kapsar. Bu etkileşim süreci uzaktan eğitimde çeşitli araçlar ve platformlar vasıtasıyla gerçekleştirilir. Etkileşim telefon, video konferans gibi ortamlar aracılığıyla eş zamanlı olabileceği gibi, yazışma, e-posta ya da tartışma panoları gibi ortamlar aracılığıyla da farklı zamanlarda gerçekleşebilir (Abrami vd., 2011). Öğrenci-öğretici etkileşiminde amaç, öğretici aracılığıyla öğrencilerin konulara ve öğrenme sürecine yönelik ilgilerini, motivasyonlarını artırabilmek ve sürdürülebilmektir (Moore, 1989). Bu amaç doğrultusunda öğrenci-öğretici etkileşimi, öğrenciler ve öğretici arasındaki diyalogu kapsamanın yanı sıra öğreticinin yönlendirmesi ile öğrenciler arasında etkileşim ve tartışma sağlanmasını da kapsamaktadır (Lou vd., 2006; Alhıh vd., 2017; Berg, 2020).

Yapay zeka etkileşim özellikleri, uzaktan eğitime katılan öğrencilerin öğretmenler ile etkileşimlerini geliştirmek için çeşitli şekillerde entegre edilebilir. Uzaktan eğitim sistemlerinde sunulacak sohbet botları ile öğrencilerin öğretmenlerine anında ulaşarak soru sorabilme olanakları sağlanabilir. Bu botlar sayesinde sürekli sorulan sorulara otomatik yanıtlar verilerek hem öğrencilerin hızlı yanıt alabilmeleri sağlanabilir hem de öğretmenlerin yükü azalmış olur. Doğal dil işleme özelliği ile öğrencilerin mesajları analiz edilerek gelişmiş duygu analizi yapılabilir ve böylece gerektiğinde öğretmenler öğrencilerin motivasyonlarını artıracak anlık ve uygun müdahalelerde bulunabilirler. Yapay zekanın görüntü ve ses tanıma özelliği sayesinde canlı derslerdeki etkileşimlerde öğrencilerin yüz ifadeleri ve ses tonları analiz edilerek öğretmenlerin öğrencilerin içerikleri anlayıp anlamadıklarını ya da derse ilgi düzeylerini kontrol etmelerine ve ona göre etkileşim kurmalarına olanak tanınabilir. Veri analizi ve karar verme özelliği, uzaktan eğitimde öğrenci-öğretici etkileşimini geliştirecek en önemli özelliklerden biri olabilir. Bu özellik ile öğrencilerin performans verileri kolayca takip edilerek, her birinin gereksinimleri, güçlü ve zayıf yönleri detaylı bir şekilde hızlıca tespit edilebilir ve dolayısıyla öğ-

reticiler bu veriler doğrultusunda öğrencilerine kişiselleştirilmiş geri bildirimler, içerik ve etkinlikler sunabilirler. Uzaktan eğitimde öğretmenler öğrencileri ile etkileşimlerini geliştirmek için içerik üretimi özelliğinden yararlanarak ders materyallerini hızlı ve etkili bir şekilde oluşturarak hem zamandan tasarruf sağlayabilir hem de öğrencilerin ihtiyaçlarına göre daha çeşitli ve ilgi çekici içerikler sunabilir.

### 3.3. Öğrenci-öğrenci Etkileşimi

Uzaktan eğitimde öğrenci-öğrenci etkileşimi öğrencilerin kendi aralarında birebir ya da küçük gruplar halinde gerçekleştirdikleri etkileşim türünü ifade eder (Moore 1989; Ferguson, 2010). Öğrencilerin kendi aralarında bilgi paylaşımında bulunarak, tartışmalara katılarak öğrenme faaliyetlerine birlikte katılmaları öğrenci-öğrenci etkileşimi olarak tanımlanabilir. Bu şekilde öğrenciler sosyal öğrenme deneyimini yaşayabilir, işbirliği becerilerini geliştirebilir ve böylece öğrenmeye ilişkin motivasyonları da artabilir. Yazışmalı uzaktan eğitim süreçlerinde öğrenci-öğrenci etkileşiminin olmadığı, sonraki dönemlerde farklı platformların kullanılmaya başlanmasıyla birlikte öğrenciler arasında sesli ya da video konferans gibi ortamlar ile eş zamanlı etkileşimler ya da e-posta, tartışma panoları gibi ortamlar ile de eş zamansız etkileşimler kurulduğu belirtilmektedir (Abrami vd., 2011).

Uzaktan eğitimde öğrenci-öğrenci etkileşimini geliştirecek yapay zeka etkileşim özelliklerine bakıldığında, çevrimiçi tartışma forumlarında doğal dil işleme özelliğinden yararlanılarak tartışmaların otomatik olarak moderasyonu sağlanır ve öğrenci-öğrenci etkileşimleri daha düzenli ve yapıcı ilerleyebilir. Yapay zekanın veri analizi ve karar verme özelliği ile öğrenciler arasındaki etkileşim süreçleri analiz edilebilir ve öğrencilere bu konuda sunulacak geri bildirimler ile işbirliği ve etkileşim süreçlerini geliştirecek yeni stratejiler geliştirmeleri için kullanılabilir. Bununla birlikte öğrencilerin profilleri analiz edilerek öğrencilerin çalışma gruplarını seçerken bu verilerden yararlanmaları sağlanabilir, böylece daha uyumlu, verimli ve etkileşimli çalışma grupları oluşturulabilir. Gelişmiş kişiselleştirme özelliği ile yapay zeka, öğrencilerin ilgi alanlarına, özel yeteneklerine ya da *öğrenme hedeflerine göre özel*



*kişiselleştirilmiş öğrenme toplulukları oluşturabilir ve böylece benzer ilgi alanlarına sahip diğer öğrenciler arasındaki etkileşimler artırılabilir. Öğrenciler işbirlikli çalışmalar yaparken, yapay zekanın içerik üretimi özelliğinden yararlanarak daha kolay ve hızlı bir şekilde çeşitli projeler, sunumlar ya da öğrenme materyalleri oluşturabilirler. Bu da öğrencilerin yaratıcı süreçlere katılmaları konusunda onları motive eder, etkileşim ve işbirliği süreçlerini geliştirir.*

### 3.4. Öğrenci-Arayüz Etkileşimi

Uzaktan eğitimde öğrenci-arayüz etkileşimi, öğrencilerin öğretim sürecine katılmak ve bunun yanı sıra öğreticiler, diğer öğrenciler ve eğitim kurumları ile de etkileşimlerini gerçekleştirebilmek için kullanılan teknolojiler ile yaptıkları etkileşim türü olarak ifade edilmektedir (Hillman, 1994; Vlachopoulos & Makri, 2019). Bu etkileşim türündeki teknolojiler, öğrencilerin ders materyallerine erişebilmeleri, ödevlerini yapmaları, sınavlara girebilmeleri, diğer etkileşimleri ya da diğer öğrenme etkinliklerini gerçekleştirebilmeleri için kullanılan yazılım ve donanım arayüzlerini kapsar. Bu etkileşim türü öğrencilerin öğrenme sürecine katılmalarında sürekliliği sağlayabilirken (Liao, 2006), sanal sınıflara etkili bir şekilde katılabilmeleri için gerekli becerileri edinmelerini de kolaylaştırır (Hillman, 1994).

Uzaktan eğitimde öğrenci-arayüz etkileşimini daha etkili ve verimli hale getirmek için yapay zeka etkileşim özelliklerinden çeşitli şekillerde yararlanılabilir. Örneğin doğal dil işleme özelliği ile öğrencilerin geri bildirimleri analiz edilerek hem platform sürekli olarak iyileştirilebilir hem de öğrencilere uzaktan eğitim sisteminde karşılaştıkları sorunları hızlı bir şekilde çözebilecek anlık destekler ve öneriler sunulabilir. Oluşturulacak sohbet botları ile öğrenciler öğrenme materyalleri, içerikler, ödevler ya da genel platform ile ilgili istedikleri zaman destek alabilirler. Yapay zekanın görüntü tanıma özelliği sayesinde öğrencilerin kimlik doğrulama süreçleri kolaylaştırılarak uzaktan eğitim arayüzüne güvenli bir şekilde erişmeleri sağlanabilir. Ses tanıma özelliği ile de uzaktan eğitim platformunda öğrencilerin sesli komutlarla ders materyallerine erişebilmeleri ve içerikleri sesli bir şekilde kolayca yönetebilmeleri sağlanabilir, bu da öğren-

ci-arayüz etkileşimini daha kolay ve erişilebilir hale getirebilir. Bir başka yapay zeka etkileşim özelliği olan veri analizi ve karar verme özelliği ile öğrencilerin uzaktan eğitim platformunu nasıl kullandığı izlenerek, en fazla etkileşimde buldukları alanlar belirlenebilir ve böylece hem kullanıcı deneyimleri hem de arayüzde iyileştirmeler yapılabilir. Yapay zeka sayesinde her öğrencinin bireysel özellikleri ve öğrenme gereksinimleri doğrultusunda uzaktan eğitim platformunun arayüzü kişiselleştirilebilir. Bu gelişmiş kişiselleştirme özelliği ile öğrencilerin arayüzü daha kolay kullanabilecekleri ve sık kullandıkları özelliklere hızlı erişim sağlayabilecekleri kişiselleştirilmiş menü düzenlemeleri gerçekleştirilebilir. Uzaktan eğitim platformundaki materyaller, kaynaklar, görseller ya da içerikler, yapay zekanın içerik üretimi özelliği ile otomatik olarak kişiye özel olarak güncellenebilir ve böylece öğrencilerin arayüz üzerinde istenen yerlere odaklanması sağlanabilir.

## 4. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu makalede yapay zeka etkileşim özelliklerinin uzaktan eğitim etkileşim türlerindeki rolü ve önemi vurgulanmış olup bu bağlamda yapay zeka destekli uzaktan eğitimde etkileşim tasarımı önerileri sunulmuştur. Çalışmada yapay zeka etkileşim özellikleri Doğal Dil İşleme (NLP) ve Sohbet Botları, Görüntü ve Ses Tanıma, Veri Analizi ve Karar Verme, Gelişmiş Kişiselleştirme ve İçerik Üretimi olmak üzere beş başlık altında ele alınmıştır. Bu özellikler uzaktan eğitimdeki öğrenci-öğrenci, öğrenci-öğretmen, öğrenci-içerik ve öğrenci-arayüz etkileşimlerini daha dinamik, etkili ve kişiselleştirilmiş hale getirme potansiyeline sahiptir ve bu çalışma kapsamında da bu entegrasyona yönelik tasarım önerileri sunulmuştur.

Yapay zekanın doğal dil işleme ve sohbet botları özelliğinin, uzaktan eğitimde öğrencilere hem kendi aralarında hem de öğretmenleri ile çok daha hızlı ve etkili iletişim kurma olanağı sağlayabiliyorken, içerik etkileşimlerini de zenginleştireceği söylenebilir. Görüntü ve ses tanıma özelliği ile de öğrenci-arayüz etkileşimi başta olmak üzere öğrenci-öğrenci etkileşimini ve öğrenci içerik etkileşimini olumlu yönde geliştirme potansiyeline sahip olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte yapay zekanın veri analizi ve karar verme özelliği birçok sektörde olduğu gibi eğitim sektöründe de çok önemli etkilere sahip olacaktır. Özellikler geniş kitlelere eğitim olanağı sunan uzaktan eğitimde öğrenci performans verilerinin hızlı bir şekilde analiz edilmesi ile öğrencilerle ilgilenmelerini izlemek ve onlara uygun geri bildirimler sağlamak için güçlü araçlar sunulabilir. Birbirleri ile yüz yüze tanışma olanağı bulamayan öğrencilerin işbirlikli olarak uyum içinde çalışabilmelerini sağlayacak kararlar yapay zeka tarafından daha doğru bir şekilde verilebilir. Yine eğitim alanında kritik öneme sahip olacak olan gelişmiş kişiselleştirme ve içerik üretimi özellikleri ile öğrencilerin özelliklerine, bireysel gereksinimlerine, öğrenme tercihlerine uygun kişiselleştirilmiş öğrenme materyalleri ve yolları sunularak, onlara uygun içerikleri, görselleri ya da arayüzleri otomatik bir şekilde hızlıca oluşturarak öğrenme deneyimi zenginleştirilebilir.

Bu teknolojilerin başarılı bir şekilde entegre edilmesi, öğrencilerin motivasyonunu ve katılımını artırarak, öğrenme sürecini daha verimli hale getirebilir ve akademik başarıyı yükseltebilir. Yapılan araştırmaların ortaya koyduğu bulgular da bu öngörüye destekleyici niteliktedir. Örneğin Afzaal vd. (2024) yaptıkları çalışmada öğrencilerin performanslarını artırmak amacıyla AI-tabanlı bir yaklaşım kullanmışlar ve öğrencilere otomatik ve akıllı geri bildirim ve öneri yaklaşımı sunmuşlardır. Çalışma sonunda araştırmacılar, kullandıkları yaklaşımın öğrencilerin hem akademik performanslarını olumlu yönde etkilediğini ve onların öz düzenleme becerilerinde olumlu gelişmeler olduğunu ifade etmişlerdir. Yapay zekanın özellikle uzaktan eğitimdeki etkileşim süreçlerine katkısı bağlamında inceleyen bir başka çalışma da Seo vd. (2021) tarafından gerçekleştirilmiştir. Çalışmada öğrenci-öğretmen etkileşimi ele alınmış olup, özellikle bu etkileşimi kişiselleştirme anlamında yapay zekanın önemli katkı sağlayabileceği vurgulanmıştır. Bununla birlikte gelişmiş kişiselleştirme ve içerik üretimi özelliklerinin uzaktan eğitimde önemli katkı sağlayabileceğine ilişkin görüşler Chen vd. (2020) ile Doğan vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da desteklenmektedir. Yaptıkları analiz sonrası yapay zekanın eğitimde kullanımı ile müfredatın ve içeriklerin

öğrencilerin ihtiyaçlarına göre özelleştirilmesini sağladığı, böylece öğrencilerin deneyimlerini ve genel öğrenme kalitelerini iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Çalışmada ele alınan yapay zeka etkileşim özelliklerinden biri de veri analizi ve karar verme özelliğiydi. Aljarrah vd. (2021) tarafından yapılan çalışmada da, derin öğrenme ve makine öğrenimi gibi yapay zeka teknikleri ile gerçekleştirilebilecek büyük veri analizi sayesinde uzaktan eğitim sistemlerinin iyileştirilebileceği vurgulanmıştır. Dolayısıyla gelecekte, yapay zeka destekli etkileşim tasarımının etkililiğini ve verimliliğini inceleyen çeşitli araştırmalar yapılarak bunların daha da geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması, uzaktan eğitimde daha başarılı ve tatmin edici öğrenme deneyimlerinin önünü açabilir.

Sonuç olarak yapay zeka etkileşim özelliklerinin etkin bir şekilde kullanılması ve başarılı bir şekilde entegre edilmesi ile uzaktan eğitim etkileşim türlerinin daha da kişiselleştirilerek geliştirilebileceği söylenebilir. Buna bağlı olarak da öğrencilerin motivasyonlarında, akademik başarılarında ve öğrenme süreçlerine katılımlarında artış olabilir. Dolayısıyla yapay zekanın uzaktan eğitimde yeni ufuklar açma potansiyeline sahip olduğu ifade edilebilir. Bu çalışmada yapay zekanın mevcut potansiyeli uzaktan eğitimde kritik öneme sahip olan etkileşim boyutu ile sınırlandırılarak tartışılmış ve öneri niteliğinde sunulmaya çalışılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda yapay zeka destekli etkileşim tasarımının daha da geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması için sunulan tasarım fikirlerinin uygulanarak, nicel ve nitel veriler ile sonuçlarının derinlemesine incelenmesi önerilebilir. Böylece uzaktan eğitimde daha başarılı ve tatmin edici öğrenme deneyimlerinin önünü açılabilir. Eğitim kurumlarının da bu teknolojileri eğitim süreçlerine başarılı bir şekilde entegre edebilmek ve öğrencilere en iyi öğrenme deneyimini sunabilmek yolunda araştırma ve uygulama boyutunda önemli adımlar atması önemli olacaktır.

## KAYNAKÇA

- [1] Abrami, P., Bernard, R., Bures, E., Borokhovski, E., & Tamim, R. (2011). Interaction in distance education and online learning: Using evidence and theory to improve practice. *Journal of Computing in Higher Education*, 23(1), 82-103.
- [2] Afzaal, M., Zia, A., Nouri, J., & Fors, U. (2024). Informative feedback and explainable AI-based recommendations to support students' self-regulation. *Tech Know Learn*, 29(2), 331-354.
- [3] Aktürk, F. (2015). Örneklem tabanlı gürbüz konuşma tanıma [Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü].
- [4] Alhih, M., Ossiannilsson, E., & Berigel, M. (2017). Levels of interaction provided by online distance education models. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(5), 2733-2748.
- [5] Aljarrah, A., Ababneh, M., Karagozlu, D., & Ozdamli, F. (2021). Artificial intelligence techniques for distance education: A systematic literature review. *TEM Journal*, 10(4), 1621-1629.
- [6] Alkaddour, M. (2022). Pazarlamada yapay zekâ kullanımı. *Journal of Marketing Research*, 2022(1), 48-66.
- [7] Anderson, B., & Simpson, M. (2012). History and heritage in open, flexible, and distance education. *Journal of Open, Flexible and Distance Learning*, 16(2), 1-10.
- [8] Ardatürk, A.Ş. (2022). Tasarımcı zihninin bir yansıması olarak; "yapay zeka". *Online Journal of Art and Design*, 10(4), 283-300.
- [9] Atalay, M., & Çelik, E. (2017). Büyük veri analizinde yapay zekâ ve makine öğrenmesi uygulamaları. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 9(22), 155-172.
- [10] Aydemir, İ., Ünal, V., Gönültaş, M. B., Öngören, B., & Kuruçay, N. (2022). Covid-19 salgını sürecindeki uzaktan eğitim modeline yönelik sosyal hizmet öğrencilerinin görüşleri. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 124-150.
- [11] Batur, M. (2022). Yeni iletişim teknolojileri çerçevesinde uzaktan eğitimde iletişim ve etkileşim. *ODÜSOBİAD*, 12(2), 1501-1518.
- [12] Berg, G. (2020). Context matters: Student experiences of interaction in open distance learning. *Turkish Online Journal of Distance Education*, 21(4), 223-236.
- [13] Büyük, O. (2018). Mobil araçlarda Türkçe konuşma tanıma için yeni bir veri tabanı ve bu veri tabanı ile elde edilen ilk konuşma tanıma sonuçları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(2), 180-184.
- [14] Chang, S., & Smith, R. (2008). Effectiveness of personal interaction in a learner-centered paradigm distance education class based on student satisfaction. *Journal of Research on Technology in Education*, 40(4), 407-426.
- [15] Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2020). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 8, 75264-75278.
- [16] Chen, J.-S., Le, T.-T.-Y., & Florence, D. (2021). Usability and responsiveness of artificial intelligence chatbot on online customer experience in e-retailing. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 49(11), 1512-1531.
- [17] Dogan, M. E., Dogan, T. G., & Bozkurt, A. (2023). The use of artificial intelligence (AI) in online learning and distance education processes: A systematic review of empirical studies. *Applied Sciences*, 13(5), 1-15.
- [18] Ersöz, B., & Özmen, M. (2020). Dijitalleşme ve bilişim teknolojilerinin çalışanlar üzerindeki etkileri. *AJIT-e: Academic Journal of Information Technology*, 11(42), 170-179.
- [19] Ferguson, R. (2010). Peer interaction: The experience of distance students at university level. *Journal of Computer Assisted Learning*, 26(6), 574-584.
- [20] Gelgel, N. M. R. A. (2020). Will technology take over journalism. *Informasi*, 50(2), 2502-3837.
- [21] Guan, C., Mou, J., & Jiang, Z. (2020). Artificial intelligence innovation in education: A twenty-year data-driven historical analysis. *International Journal of Innovation Studies*, 4(4), 134-147.
- [22] Hillman, D. C., Willis, D. J., & Gunawardena, C. N. (1994). Learner-interface interaction in distance education: An extension of contemporary models and strategies for practitioners. *American Journal of Distance Education*, 8(2), 30-42.
- [23] Kaysi, F., & Aydemir, E. (2017). Uzaktan eğitim süreçlerindeki etkileşim boyutlarının değerlendirilmesi. *Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(11), 778-790.
- [24] Keegan, D. (1996). *Foundations of distance education* (3rd ed.). London: Routledge.
- [25] Liao, L. (2006). A flow theory perspective on learner motivation and behavior in distance education. *Distance Education*, 27(1), 45-62.

- [26] Lou, Y., Bernard, R., & Abrami, P. (2006). Media and pedagogy in undergraduate distance education: A theory-based meta-analysis of empirical literature. *Educational Technology Research and Development*, 54(2), 141-176.
- [27] Moore, M. G. (1989). Three types of interaction. *The American Journal of Distance Education*, 3(2), 1-6.
- [28] Öztürk, S., Coşkun, A., & Dirsehan, T. (2012). Fırsat sitelerine yönelik e-sadakati belirleyen boyutların incelenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Dergisi*, 7(2).
- [29] Seo, K., Tang, J., Roll, I., Fels, S., & Yoon, D. (2021). The impact of artificial intelligence on learner-instructor interaction in online learning. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 18(1).
- [30] Solak, S., & Altınışık, U. (2018). Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması. *Sakarya University Journal of Science*, 22(1), 56-65.
- [31] Soyhan, İ., Gürel, S., & Tekin, S. A. (2021). Yapay zeka tabanlı görüntü işleme tekniklerinin insansız hava araçları üzerinde uygulamaları. *Aurupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 469-473.
- [32] Şentürk, Ö. (2023). İç denetim faaliyetlerinde yapay zekadan beklentiler: ChatGPT uygulaması örneği. *TİDE AcademIA Research*, 4(2), 51-82.
- [33] Toğaçar, M., Eşidir, K. A., & Ergen, B. (2022). Yapay zeka tabanlı doğal dil işleme yaklaşımını kullanarak internet ortamında yayınlanmış sahte haberlerin tespiti. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, 5(1), 1-8.
- [34] Topal, N., Odacı, H., & Özer, Ş. (2022). Covid-19 pandemi sürecinde okul psikolojik danışmanlarının uzaktan eğitim hizmetlerine ilişkin görüşlerinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 42(2), 1751-1789.
- [35] Tussyadiah, I. (2020). A review of research into automation in tourism: Launching the Annals of Tourism Research Curated Collection on artificial intelligence and robotics in tourism. *Annals of Tourism Research*, 81, 102883.
- [36] Tuvay, N. H., & Ermetin, O. (2023). Yapay zeka teknolojilerinin hayvancılıkta kullanımı. *Hayvansal Üretim*, 64(1), 48-58.
- [37] Vlachopoulos, D., & Makri, A. (2019). Online communication and interaction in distance higher education: A framework study of good practice. *International Review of Education*, 65(5), 605-632.
- [38] Wang, Z., Chen, L., & Anderson, T. (2014). A framework for interaction and cognitive engagement in connectivist learning contexts. *The International Review of Research in Open and Distributed Learning*, 15(2), 121-141.
- [39] Xiao, J. (2017). Learner-content interaction in distance education: The weakest link in interaction research. *Distance Education*, 38(1), 123-135.
- [40] Zhou, M., Nan, D., Shujie, L., & Heung-Yeung, S. (2020). Progress in neural NLP: Modeling, learning, and reasoning. *Engineering*, 6(3), 275-290.

# Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Ses Verilerinde Hastalık Tespiti

## *Disease Detection in Audio Data by Using Machine Learning Algorithms*

Duygu Çokay<sup>1</sup> 

Engin Şahin<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Türkiye, e-mail: [sonmez\\_duygu@hotmail.com](mailto:sonmez_duygu@hotmail.com)

<sup>2</sup> Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Türkiye, e-mail: [enginsahin@comu.edu.tr](mailto:enginsahin@comu.edu.tr)

### Öz

Hastalıkların ileri evrelerde tespit edilmesi iyileşme oranlarını düşürür, tedavi sürecini zorlaştırır, iyileşme maliyetini artırır. Bu nedenle hastalıkların erken evrelerde tespit edilmesi önemlidir. Günümüzde makine öğrenmesi, yapay zeka, derin öğrenme yöntemleri; sağlık alanında, tıbbi veri analizi ve hastalık tespiti amacıyla yaygın şekilde kullanılmaktadır. Ses kısıklığı toplumda yaygın görülen şikayetlerden biridir. Ses kısıklığına neden olan ses teli polipi, gırtlak kanseri, akut larenjit, ses teli felci gibi çeşitli hastalıklar mevcuttur. Bu hastalıkların ortak noktası ses kısıklığı olmasına rağmen nedenleri, tedavi süreçleri, riskleri farklılık gösterir. Bu çalışmada, ses kısıklığına neden olan farklı hastalıkların, ses verileri kullanılarak, patolojik ve endoskopik muayeneden önce sınıflandırılmasının yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada Saarland Üniversitesi Fonetik Enstitüsü tarafından oluşturulan Saarbruecken veri tabanından elde edilen ses verileri kullanılmıştır. Reinke ödemi olan, larenjit, kanser ya da kanser öncesi lekeleme tanısı bulunan, polip, ses teli felçli ve sağlıklı hastalardan oluşan toplamda 652 kişiye ait ses verisi üzerinde k-En Yakın Komşu, Naive Bayes, Karar Ağacı, Destek Vektör Makinesi, Rassal Orman olarak beş farklı makine öğrenme algoritmasıyla sınıflama yapılmış elde edilen sonuçlar karmaşıklık matrisi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hastalıklı-sağlıklı ses ayırımında en yüksek doğruluk oranı 0,79 ile SVM algoritmalarından elde edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Makine öğrenmesi, Ses işleme, Sınıflandırma algoritmaları, Hastalık tespiti, Polip, Larenjit, Kanser

\*Bu çalışma yazarın Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilgisayar Mühendisliği Anabilim dalında hazırladığı aynı isimdeki yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

\* Bu çalışma Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimince Desteklenmiştir. Proje Numarası: **FYL-2023-4610**

**Citation/Atf:** ÇOKAY, D. & ŞAHIN, E. (2024). Makine Öğrenme Algoritmaları Kullanarak Ses Verilerinde Hastalık Tespiti. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 2(2): 61-71, DOI: 10.70447/ktve.2422

**Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:**  
Duygu Çokay  
E-mail: [sonmez\\_duygu@hotmail.com](mailto:sonmez_duygu@hotmail.com)



Bu çalışma, Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



## Abstract

Detecting diseases at advanced stages reduces recovery rates, complicates the treatment process, and increases the cost of recovery. Therefore, it is important to detect diseases at early stages. Nowadays, machine learning, artificial intelligence, and deep learning methods are widely used in the field of healthcare for medical data analysis and disease detection. Hoarseness is one of the common complaints in the community. Various diseases cause hoarseness, such as vocal cord polyps, laryngeal cancer, acute laryngitis, and vocal cord paralysis. Despite the commonality of hoarseness, these diseases have different causes, treatment processes, and risks. This study aims to classify different diseases that cause hoarseness using audio data before pathological and endoscopic examination. The audio data used in this study were obtained from the Saarbruecken database created by the Saarland University Institute of Phonetics. Classification was performed on audio data from a total of 652 individuals, including those diagnosed with Reinke's edema, laryngitis, cancer or pre-cancerous lesions, polyps, vocal cord paralysis, and healthy individuals. Five different machine learning algorithms were used: k-Nearest Neighbor, Naive Bayes, Decision Tree, Support Vector Machine, and Random Forest. The obtained results were compared using a confusion matrix. According to the results, the highest accuracy rate in distinguishing between diseased and healthy audio was 0.79, achieved by the SVM algorithm.

**Keywords:** Machine learning, Speech processing, Classification algorithms, Disease detection, Polyp, Laryngitis, Cancer

## 1. GİRİŞ

Hastalıkların erken evrelerde tespit edilmesi, tedavi süreçleri açısından oldukça önemlidir. Erken teşhis hastalıkların ilerlemesini engelleyebilir, daha etkili tedavilerin uygulanmasını sağlayabilir. Erken teşhisin önemi özellikle kanser gibi hastalıkların tedavisinde belirgindir [1]. Kanser gibi hastalıkların erken aşamalarda tespit edilmesi tedavi başarısını arttırabilir. Bu nedenle Dünya Sağlık Örgütü hastalıkların erken evrede tespitine önem vermektedir.

Günümüzde makine öğrenmesi, yapay zeka, derin öğrenme yöntemleri sağlık alanında tıbbi veriler içerisinde hastalıkları yakalamak ve analiz etmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Hasta verileri karmaşık ve büyük boyutlu verilerdir. Çoklu veriler üzerinde sınıflama yaparken makine öğrenme algoritmaları hızlı ve yüksek doğruluk oranları elde etmemizi sağlar [2]. Araştırmalar çalışan nüfusun yaklaşık %10'unun ve genel nüfusun %3-%9'unun hayatının herhangi bir döneminde ses kısıklığı ile ilgili bir sorunla karşılaştığını göstermektedir [3].

Ses teli hastalıklarının tanısı; uzman doktor tarafından fiziki muayene, endoskopik muayene, akustik analiz gibi farklı muayeneler ayrı ya da birlikte yapılarak konulur. Sadece ses kısıklığı üzerinden tanı koymak hekim için zordur ve

yanlış tanıya neden olabilir. İnsan kulağının algılayabileceği ve ayırt edebileceği ses özellikleri sınırlıdır. Bu nedenle ses kısıklığı şikayeti ile gelen hasta için hasta hikayesi ve fiziki muayene dışında farklı testler, muayeneler gerekebilir. Endoskopik muayene için gerekli tıbbi donanımın maliyeti yüksektir ve kullanılması uzmanlık gerektirir. Birinci basamak sağlık hizmetleri veren kuruluşlarda (Aile hekimleri vb.) tanısının konması zordur. Ses verisini tanıyıp olası hastalıkları analiz edebilen ve tanı koymada destek sağlayan algoritmalar hekimlerin tanı koymasını kolaylaştırabilir, hatalı tanı oranının azalmasında yardımcı olabilir.

Literatürde ses verileri üzerinde makine öğrenme algoritmaları ve farklı yapay zeka algoritmaları ile sınıflama yapmayı amaçlayan çalışmalar vardır.

Dankovichova vd., [7] yaptıkları çalışmada nörolojik hastalıklar, enfeksiyonlar, doku değişiklikleri gibi nedenlerle seste meydana gelen bozulmaları tespit etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada Saarland Üniversitesi tarafından hazırlanmış ses verilerini kullanmışlardır. Kullanılan 194 sesin 94 ü disfoni (bozuk ses), 100'ü sağlıklı bireylere ait seslerdir. Çalışmada sınıflama yapmak için Destek Vektör Makinesi (SVM) [4], Rastgele Orman (RF) [5], k-En Yakın Komşu (k-NN) [6] algoritmaları kullanılmıştır. Yapılan çalışmada algo-

ritmaların başarı sonuçları %80,3, %80,6, %86,2 olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçların doğruluk oranlarının yüksek olmasına rağmen çalışmanın eksik yanları, örneklem sayısının küçük olması ve algoritmaların sesleri patolojik konuşma bozukluğu var (disfoni) ve sağlıklı ses olarak ayırmasıdır.

Minh Pham ve arkadaşlarının [9] yaptığı çalışmada kullanılan ses verileri Tayvan'da bulunan Far Eastern Memorial Hastanesi'nden (FEMH) elde edilmiştir. 50 normal ses örneği ve vokal nodüller, polipler ve kistler, vokal paralizi gibi yaygın ses bozuklukları örneği bulunmaktadır. Çalışmada SVM, RF, kNN ve Gradyan Arttırma (GDA) [8] algoritmaları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlarda SVM algoritmasının doğruluk oranı %64, RF algoritmasının doğruluk oranı %66, kNN algoritması doğruluk oranı %66, GDA algoritmasının doğruluk oranı %67 olarak tespit edilmiştir. Yapılan çalışma hastalıkları sınıflamada başarılı sonuçlar vermiştir. Veri setinin küçük olması çalışmanın eksik yönüdür.

Huiyi Wu ve arkadaşları [10] yaptıkları çalışmada evrişimli sinir ağları kullanılarak sağlıklı ve sağlıklı sesi ayırmayı amaçlamıştır. Çalışmada Saarbrücken Ses Veritabanı kullanılmıştır. 482 sağlıklı 482 patolojik tanıli hastaların doğal tonda ve yalnız /a/ sesleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre sınıflama başarı oranları eğitim veri setinde, doğrulama veri setinde ve test veri setinde sırasıyla %88, %66, %77 olarak ölçülmüştür. Eğitim veri setinde elde edilen doğruluk doğrulama ve test veri setinden daha iyidir. Bu durum aşırı uyum (overfitting) sorununu ortaya koymaktadır.

Fahad Taha AL-Dhief ve arkadaşları [12] yaptıkları çalışmada Saarland Üniversitesi Fonetik Enstitüsü tarafından hazırlanan Saarbrücken Ses Veritabanını kullanmışlardır. Çalışmada yalnızca /a/ sesinden oluşan 600 ses verisi kullanılmıştır. Çalışmada sağlıklı ve patolojik (hastalıklı ses) in birbirinden ayrılması amaçlanmıştır. Çalışmada Çevrimiçi Sıralı Aşırı Öğrenme Makinesi (OSELM) [11] algoritması kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, maksimum doğruluk, duyarlılık ve özgünlük oranlarının sırasıyla %85, %87 ve %87 olduğunu göstermektedir.

Wei Wang ve arkadaşları [14] ses teli polipleri-

nin ses verisi üzerinden sıkıştırılmış algılama (Compressed sensing) [13] ve SVM algoritması kullanarak tahmin edilmesini sağlayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 13 ses teli polipli ve 13 ses teli polipi olmayan hasta olmak üzere 26 hastanın ses verisi kullanılmıştır. Yapılan çalışmada ses sinyali sıkıştırılmış algılama teorisi ile yeniden oluşturulmuş ve elde edilen veri destek vektör makineleri yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Sağlıklı ve polip sahibi hastaların frekans bileşenlerinin farklı olduğu ve hastanın boğaz polipi olduğunda ses sinyallerindeki düşük frekans bileşeninin daha belirgin şekilde değiştiği görülmüştür. Hastaların frekans bileşenleri boğaz polipi olduğunda değişebilmektedir. Dolayısıyla, ses sinyallerinin frekans bileşen enerjisi, boğaz polipi tespiti için özellik olarak kullanılabilir. Deneysel sonuçlara göre çalışma polip varlığını tespit etmede başarılıdır. Çalışmanın eksik yönü kullanılan veri setinin küçük olmasıdır.

Abdullah H. Al-Nefae ve arkadaşları [15] yaptıkları çalışmada, parkinson hastalığının ses verisi üzerinden tespit edilmesi amaçlanmıştır. Araştırmada k-NN, SVM, RF, Lojistik Regresyon (LR) [16] ve AdaBoost [17] algoritmaları kullanılmıştır. Bu sınıflandırıcılar, konuşma verilerinden çıkarılan birçok fonetik özellik kullanılarak eğitilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre LR algoritması %86, k-NN algoritması %92, SVM algoritması %95, RF algoritması %95, AdaBoost algoritması %93 başarı göstermiştir. Bu sonuçlar, makine öğrenme yöntemlerinin parkinson bireyleri sağlıklı bireylerden ayırt etmede yüksek performans sergilediğini göstermektedir.

Michele Giuseppe Di Cesare ve diğerleri [18], akıllı telefonlarla kaydedilen ses örnekleri üzerinden çeşitli makine öğrenimi yöntemleri kullanılarak sağlıklı ve patolojik sesleri ayırt etmeyi incelemişlerdir. VOICED veri seti kullanılarak yapılan çalışmada, MFCC yöntemi ile ses öznelikleri çıkarılmış ve k-NN yöntemi %98,3 doğrulukla en yüksek performansı göstermiştir. Bu bulgular, ses bozukluklarının erken tespiti ve sürekli izlenmesi için akıllı telefonların etkin kullanım potansiyelini vurgulamaktadır.

Verma ve diğerleri [19] yaptıkları çalışmada MFCC ve temel frekans ve spektral centroid kul-

lanarak ses bozukluğu tespiti yapan yenilikçi bir yöntem üzerinde çalışmışlardır. Bu yöntemde, akustik özellikler üzerine eğitilmiş bir yapay sinir ağı (ANN) [20] ve MFCC özellikleri üzerine eğitilmiş bir uzun kısa süreli bellek (LSTM) modeli birleştirilmiştir. Ardından, ANN ve LSTM modelleri tarafından üretilen olasılıklar bir araya getirilerek XGBoost'a [21] girdi olarak kullanılmıştır. Bu yöntem, bir sesin bozuk olup olmadığını daha doğru bir şekilde tespit ederek yüksek doğruluk sağlamıştır. Bu yaklaşım, mevcut tekniklerin ötesine geçerek %95,67 doğruluk, %95,36 duyarlılık, %96,49 özgüllük ve %96,9 F1 skoru ile umut verici sonuçlar elde etmiştir.

Bu çalışmada ses kısıklığına neden olan reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci hastalıklarına sahip hastaların ses verileri makine öğrenme algoritmalarıyla sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada k-NN, NB [22], Karar Ağaçları DT [23], SVM ve RF algoritmaları kullanılmıştır. Her makine öğrenme algoritması öncelikle sesleri sağlıklı-hasta olarak iki sınıfa ayırmıştır ve başarı sonuçları karmaşıklık matrisiyle hesaplanmıştır. İkinci olarak her makine öğrenme algoritması için hastalıklar reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi evre, polip, ses teli felci, sağlıklı olmak üzere 6 sınıfa ayrılmıştır. Algoritmaların başarı sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 2. KURAMSAL ÇERÇEVE

### 2.1.Ses Kısıklığına Neden Olan Hastalıklar

#### 2.1.1 Reinke Ödemi

Reinke ödemi, ses tellerinin ortasındaki iç yüzeyi kaplayan ve titreşimleri oluşturan yumuşak doku tabakasında ortaya çıkan bir hastalıktır. Ses tellerinin şişmesine neden olur ve bu durum da ses kısıklığına yol açar [24].

Reinke ödeminin sigara kullanımı, reflü hastalığı, solunum yolu enfeksiyonları, sesi kötüye kullanma gibi çeşitli sebepleri olabilir. Reinke ödemi tedavisinde hastalığın nedenine göre sigarayı bırakma, ses istirahati, ses terapisi, cerrahi müdahale gibi farklı yöntemler izlenebilir [25].

#### 2.1.2 Akut Larenjit

Akut larenjit genellikle virüs nedenli ses tellerinin ve üst solunum yollarının iltihaplanmasıdır.

Soğuk algınlığı veya viral enfeksiyonlarla ortaya çıkar. Soğuk algınlığı, grip gibi hastalıklarla birlikte ortaya çıktığı için kış mevsimlerinde sıklıkla görülür ve tekrar eder. Ses kısıklığı, ses kaybı, boğaz ağrısı, kuru öksürük, boğazda yanma gibi belirtileri vardır. Akut larenjit genellikle belirtiler temel alınarak teşhis edilir. Fiziksel muayene esnasında doktor genellikle boğazı kontrol eder. Tanı koyma süreci diğer ses kısıklığı hastalıklarına göre nispeten kolaydır. Tedavisi genellikle semptomları hafifletmeye yöneliktir [25].

#### 2.1.3.Ses Teli Polipi

Ses teli polipleri sık görülen ses teli rahatsızlıklarından biridir. Ses teli polipleri genellikle ses tellerinin temas ettiği yüzeylerde oluşan, dokular üzerinde gelişen küçük yumuşak kitlelerdir. Genellikle ses tellerinin aşırı kullanımı ve kötü kullanımı ile gelişir. Ses teli polipleri larinksin en yaygın iyi huylu lezyonlarıdır [26].

#### 2.1.4.Gırtlak Kanseri

Gırtlak kanseri larenks denilen solunum yollarının üst bölgesinde oluşan bir tür kanserdir. Kanser larenks bölgesinin herhangi bir yerinde gelişebilir. Gırtlak kanseri akciğer kanserinden sonra solunum yollarındaki ikinci yaygın kanserdir [27]. Gırtlak kanserinin en belirgin belirtileri ses kısıklığı veya ses değişiklikleri, kulak ve boğaz ağrıları, yutmada ve nefes almada zorlanmadır.

#### 2.1.5.Ses Teli Felci

Ses teli felci sinir hasarı sonucu ses tellerinin normal hareketlerini kaybetmesi durumudur [28]. Bu sinir hasarı ses tellerini kontrol eden farklı sinirlerden kaynaklanabilir. Ses telleri normalde nefes alırken açılır, konuşma halinde kapanır. Ancak ses teli felci durumunda ses tellerinden biri ya da ikisi de hareket edemez.

Ses teli felcinin en yaygın belirtisi ses kısıklığı veya ses kaybıdır. Ses teli felci sesin yoğunluğunu, kalitesini de olumsuz etkileyebilir. Ses teli felcinin yutmada ve nefes almada zorlanma, boğaz ağrısı ve boğazda hassasiyet gibi farklı belirtiler de gözlemlenebilir [29].

## 2.2 Makine Öğrenme Algoritmaları

Makine öğrenmesi, insan zekasını taklit ederek tasarlanmış, çevredeki ortam verilerinden öğrenerek yeni örnekler için çıkarsama yapan he-



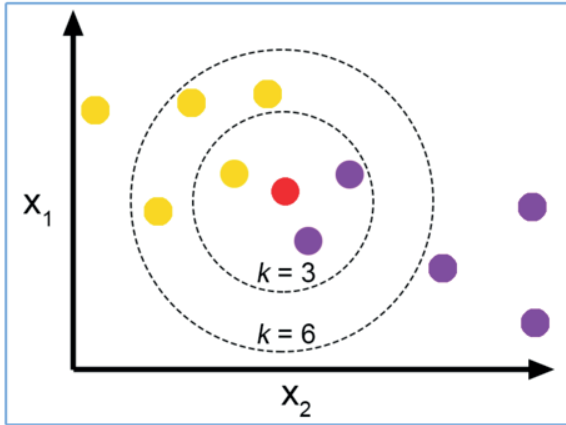
saplamalı bir algoritma dalıdır. Makine öğrenme algoritmalarının genelleme yeteneği örüntü tanıma, bilgisayarla görü, hesaplamalı biyoloji, tıbbi tanıma gibi birçok alanda başarılı şekilde kullanılmaktadır [30].

Yapılan çalışmada makine öğrenme algoritmaları ile sınıflama yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan makine öğrenme algoritmaları aşağıda açıklanmıştır.

### 2.2.1. k- En Yakın Komşu ( k-Nearest Neighbors)

Basit ve kolay uygulanan bir denetimli öğrenme algoritmasıdır. Sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılır. Algoritma yeni bir veri noktasını sınıflandırmak veya tahmin etmek için çevresindeki en yakın komşuları kullanır. Sınıflandırılması planlanan veri k sayısı kadar komşularına bakılarak çoğunluğun üyesi olduğu sınıfa dahil edilir [31].

Şekil 1. k-En Yakın Komşu Algoritması [32]



k-NN algoritmasında bir diğer önemli değer k sayısıdır. k sayısının farklı değerleri sınıflamayı değiştirebilir. k sayısının belirlenmesinde veri setinin boyutu, veri noktalarının dağılımı önemli rol oynar.

### 2.2.2. Naive Bayes

Naive bayes algoritması bayes teorisine dayanan olasılık tabanlı bir sınıflama algoritmasıdır. Bayes teoremi bir durumun gerçekleşmesi olasılığını, durumun gözlemlenmesinden önceki olaylara bakarak hesaplar [33].

Bayes teoreminin formülü şu şekildedir:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) \times P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

Formülde,

$P(A|B)$  : B olayının gerçekleştiği durumda A olayının gerçekleşme olasılığını temsil eder.

$P(B|A)$  : A olayının gerçekleştiği durumda B olayının gerçekleşme olasılığını temsil eder.

$P(A)$  : A olayının olasılığını temsil eder.

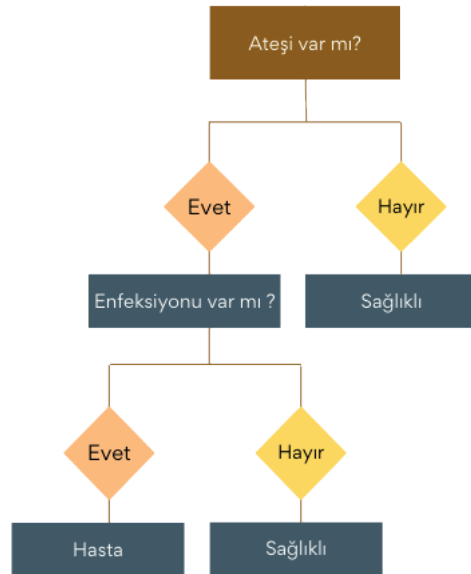
$P(B)$  : B olayını temsil eder.

NB algoritması eğitim ve veri setlerini kullanarak sınıflar arası ilişkileri öğrenir. Sınıflama yapabilmek için eğitim veri setinin özelliklerini analiz eder. Bu özellikler kelime frekansları, belirli kelime öbekleri gibi metinsel ya da sayısal değerler olabilir. Sonrasında test verileri noktaları için sınıflar belirlenir. Algoritma her bir sınıf için ait olma olasılığını hesaplar. En yüksek olasılığa sahip olan sınıf seçilir.

### 2.2.3. Karar Ağaçları (Decision Tree)

DT yaygın kullanılan, basit ve kolay anlaşılır makine öğrenme algoritmalarından biridir. DT etiketlenmiş veri kümesi üzerinden oluşturulur. Etiketlenmiş verilerin desen analizleri yapılır ve yeni verileri sınıflandırmak ya da tahmin etmek için ağaç yapısı şeklinde modeller oluşturulur, her düğümde belli bir kurala dayalı karar alınır.

Şekil 2. Karar Ağaçları



### 2.2.4. Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machine)

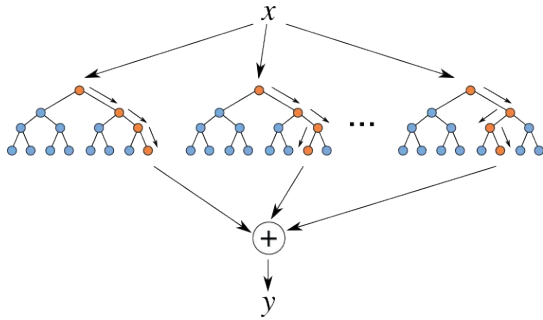
Sınıflandırma ve regresyon problemleri için kullanılan güçlü bir makine öğrenimi modelidir. Denetimli bir öğrenme modelidir. SVM algoritmasında amaç doğrusal olarak ayrılabilir iki sınıfı birbirinden ayırmaktır. SVM algoritması, verileri en iyi şekilde ayıran veya tahmin eden bir hiper-düzlem elde etmeye çalışır. SVM algoritmasının temel fikri, sınıflar arasındaki en geniş aralığı (maksimum margin) elde etmektir [34].

### 2.2.5. Rassal Orman (Random Forest)

RF algoritması Leo Breiman ve Adele Cutler tarafından geliştirilen, sınıflandırma ve regresyon problemlerinde kullanılabilen bir denetimli öğrenme modelidir [35].

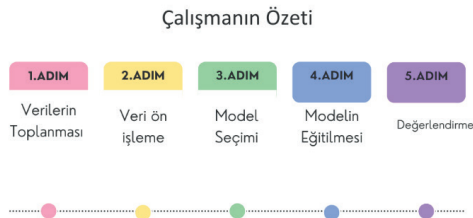
RF algoritması birden fazla karar ağacını (decision tree) bir araya getirerek çalışır ve bu ağaçların sonuçlarını bir araya getirerek bir tahminde bulunur.

Şekil 3. RF Algoritması [36]



## 3. METARYAL VE YÖNTEM

Şekil 4. Çalışmanın özeti



Çalışmada veri alma ve veri işlemede sağladığı kolaylıklar nedeniyle Python programlama dili kullanılmıştır. Ses dosyalarını yükleme, ses verilerini dönüştürme, sesin özelliklerini çıkarma işlemleri için librosa kütüphanesi kullanılmıştır. Verilerin analiz edilmesi, veri çerçevelerinin

oluşturulması, verilerin tablolar, grafikler ve görseller şeklinde ifade edilebilmesi için Pandas kütüphanesi, veriler üzerinde matematiksel işlemlerin yapılabilmesi için NumPy kütüphanesi kullanılmıştır. Makine öğrenme algoritmaları için Scikit-learn kütüphanesi kullanılmıştır. Verilerin görselleştirilmesi için Matplotlib kütüphanesi kullanılmıştır. Çalışmada 12th Gen Intel(R) Core(TM) i5 2.50 GHz işlemci ve 32 gb ram kapasiteli bilgisayar kullanılmıştır.

### 3.1. Kullanılan Veri Seti

Çalışmada Saarland Üniversitesi Fonetik Enstitüsü tarafından oluşturulan ve <https://stimmdb.coli.uni-saarland.de/> sitesinde çevrimiçi paylaşılan Saarbruecken Ses Veritabanı kullanılmıştır. Saarbruecken veritabanı 71 farklı patolojiyi içeren zengin bir veritabanıdır. Veritabanında 2000'den fazla bireyin ses kayıtları vardır. Hastalardan alınan ses kayıtları /i/, /a/, /u/ sesleri şeklinde normal yüksek ve alçak ses tonlarında wav formatında kaydedilmiştir. Kayıtlar 50 kHz örnekleme frekansında ve 16-bit çözünürlükte, "wav" uzantısı ile kaydedilmiştir.

Çalışmada 176 ses teli felci hastasına ait 1581 ses verisi, 82 larenjit tanılı hastaya ait 738 ses verisi, 35 kanser öncüsü lezyon veya kanser hastasına ait 315 ses verisi, 27 polip tanılı hastaya ait 243 ses verisi, 34 reinke ödemi tanılı hastaya ait 306 ses verisi ve 298 sağlıklı hastadan alınan 2682 ses verisi olmak üzere toplamda 652 hastaya ait 5865 ses verisi veri seti olarak kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan sesler cinsiyet ve yaşa göre ayrılmamış patolojik sınıftaki tüm sesler veri setine dahil edilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan veriler ve sayıları

Çalışma Kapsamında Kullanılan Veri Seti		
Hastalıklar	Hasta Sayısı	Ses Dosyası Sayısı
Ses teli felci	176	1581
Larenjit	82	738
Kanser öncüsü lezyon veya kanser	35	315
Polip	27	243
Sağlıklı	298	2682
Reinke ödemi	34	306
Toplam	652	5865

### 3.2. Veri Ön İşleme

Veri ön işleme veri setlerinin temizlenmesi, düzenlenmesi ve hazırlanması sürecidir. Bu adım, modelin verimli bir şekilde eğitilmesini sağla-

mak ve modelinizin performansını artırmak için önemlidir.

Makine öğrenimi modellerini eğitmeden önce, veri özellikleri standartlaştırmak veri setindeki özelliklerin dağılımını standart bir hale getirir ve modelin daha iyi performans göstermesini sağlar. Özellikler arasındaki büyük farklar, modelin doğruluğunu olumsuz etkileyebilir. Farklı ölçeklerdeki özellikler arasında model karşılaştırması yaparken, özelliklerin standartlaştırılmış olması, modellerin doğru bir şekilde karşılaştırılmasını sağlar. Bu nedenle makine öğrenme algoritmaları öncesi veri standardizasyonu yaygın bir uygulamadır. Yapılan çalışmada yüklenen veri seti üzerinde eğitim ve test verisi olarak bölünmeden önce standartlaştırma işlemi yapılmıştır.

**Şekil 5.** Veri standartlaştırmanın kodla gösterimi

```
# accuracy artırmak için verileri scale etme
scaler = StandardScaler()
X = scaler.fit_transform(np.array(X))

# train_test_split ile test ve train setleri oluşturma
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(
    X, y, test_size=0.2, random_state=0)
```

### 3.3.Öznitelik Çıkarımı

Ses verisinde öznitelik çıkarımı, ses sinyallerinden anlamlı özelliklerin çıkarılması işlemidir. Bu özellikler, ses verisini sayısal bir formata dönüştürerek makine öğrenimi modellerinin anlayabileceği bir şekilde getirir. Sesin özelliklerini elde etmemizde kullanılan bazı ses özellikleri vardır. Örneğin ses dosyaları genellikle dalga formunda gelir ve bu dalga formu, örnekleme frekansı ve bit derinliği gibi özelliklere sahiptir.

Çalışmada ses verisi elde edildikten sonra öznitelik çıkarımı için Mel-Frekans Öznitelik Katsayıları (MFCC) yöntemi kullanılmıştır. MFCC sesin frekans içeriğini temsil etmek için birçok konuşma tanıma sisteminde yaygın olarak kullanılan bir özelliktir [37]. MFCC, bir ses sinyalinin özelliklerini temsil etmek için kullanılan bir dizi katsayıdır ve bu katsayılar sesin frekans ve zaman özelliklerini temsil eder. MFCC, insan kulağı ölçeğine dayanan Mel ölçeğini kullanarak frekans alanında temel alan konuşma tanıma sistemlerinde kullanılan en popüler özellik çıkarım tekniklerinden biridir [38].

Mel-Frekans Öznitelik Katsayıları ses sinyallerinin zaman-frekans alanındaki özelliklerini yaka-

lamak için ses sinyalinin kesilmesi, pencereleme, Fourier dönüşümü, Mel-Frekans Filtre Bankası Uygulaması, logaritmik dönüşüm olmak üzere bir dizi adımdan geçer. Bu aşamaların sonunda her çerçeve için bir MFCC vektörü elde edilir. Bu vektörler, ses sinyalinin zaman içindeki değişimini temsil eder ve makine öğrenimi modelleri için girdi olarak kullanılabilir.

### 3.4.Ses verisinin Bölünmesi ve Modelin Eğitilmesi

Bu tez çalışmasında veri seti eğitim ve test verisi olarak %80 ve %20 oranlarında bölünmüştür. Verilerin bölünmesinde scikit-learn kütüphanesinde 'train\_test\_split' fonksiyonu kullanılmıştır. Eğitim ve test verisi oluşturulurken rastgelelik kontrolü için kullanılan 'random\_state' parametresi 0 olarak belirlenmiştir. DT, k-NN, NB, SVM ve RF olmak üzere 5 algoritma reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci ve sağlıklı sınıflara ayrılan ses verileri üzerinde kullanılmıştır. Algoritmaların her biri öncelikle tüm ses verileri içerisinde yalnızca sağlıklı sesleri ayırmıştır. Başka bir ifadeyle her bir makine öğrenme algoritması ile öncelikle sağlıklı-sağıksız ses ayrımı yapılmıştır. Sonrasında her bir makine öğrenme algoritması ses verilerini ses patolojilerine göre ayırmıştır.

### 3.5 Modelin Değerlendirilmesi

Çalışmada elde edilen sonuçlar karmaşıklık matrisi kullanılarak değerlendirilmiştir. Karmaşıklık matrisi algoritmaların performansını değerlendirmek için kullanılan bir değerlendirme aracıdır. Karmaşıklık matrisi gerçek sınıf tanımlarını ve çalışılan modelin tahminlerini kullanarak dört kategori elde etmemizi sağlar:

- 1.True Pozitif (TP): Gerçekte pozitif olan örneklerin, model tarafından doğru şekilde pozitif olarak tahmin edilmesidir. (Hasta kişilerin hasta sınıfında tanımlanması)
- 2.False Pozitif (FP): Gerçekte negatif olan örneklerin model tarafından yanlış tanımlanarak pozitif olarak tahmin edilmesidir. (Sağlıklı olan kişilerin hasta sınıfında tanımlanması)
- 3.True Negatif (TN): Gerçekte negatif olan örneklerin model tarafından doğru olarak negatif

sınıfında tanımlanmasıdır. (Sağlıklı olan kişilerin sağlıklı sınıfında tanımlanması)

4.False Negatif (FN): Gerçekte pozitif olan örneklerin model tarafından yanlış tahmin edilerek negatif olarak tanımlanmasıdır. (Hasta kişilerin yanlışlıkla sağlıklı olarak tanımlanması)

Karmaşıklık matrisi doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skoru gibi performans ölçümleri hesaplamak için kullanılmaktadır ve aşağıda formülleri verilmektedir [39].

$$\text{Doğruluk (accuracy)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{TP_i + TN_i}{TP_i + TN_i + FP_i + FN_i} \quad (2)$$

$$\text{Hassasiyet (precision)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{TP_i}{TP_i + FP_i} \quad (3)$$

$$\text{Duyarlılık (recall)} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \frac{TP_i}{TP_i + FN_i} \quad (4)$$

$$F1 = 2 \times \frac{\text{Hassasiyet} \times \text{Duyarlılık}}{\text{Hassasiyet} + \text{Duyarlılık}} \quad (5)$$

Burada  $TP_i$ ,  $TN_i$ ,  $FP_i$  ve  $FN_i$ ; i etiketi için sırasıyla gerçek pozitif, gerçek negatif, yanlış pozitif ve yanlış negatifin sayısıdır. Ayrıca k toplam etiketlerin sayısıdır.

## 4.ARAŞTIRMA BULGULARI

### 4.1. k-En Yakın Komşu Algoritmasından Elde Edilen Sonuçlar

k-NN algoritmasının sağlıklı ve hasta sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 2. k-NN algoritmasının sağlıklı-hasta sınıflandırma sonuçları

Algoritma Adı	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1
k-NN	0,76	0,79	0,76	0,77

k-NN algoritmasının veri setindeki reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci ve sağlıklı sınıflarının sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 3. k-NN algoritmasının hastalık sınıflandırma sonuçları

Hastalık	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1
Felç	0,65	0,68	0,65	0,66
Larenjit	0,55	0,59	0,55	0,57
Kanser	0,60	0,65	0,60	0,62
Polip	0,40	0,43	0,40	0,42
Reinke Ödemi	0,42	0,42	0,42	0,42
Sağlıklı	0,76	0,73	0,76	0,74

### 4.2. Naive Bayes Algoritmasından Elde Edilen Sonuçlar

NB algoritmasının sağlıklı ve hasta sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir. Çalışmada Gaussian Naive Bayes sınıflandırıcısı kullanılmıştır.

Çizelge 4. NB algoritmasının sağlıklı-hasta sınıflandırma sonuçları

Algoritma Adı	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1
Naive Bayes	0,64	0,65	0,73	0,69

NB algoritmasının veri setindeki reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci ve sağlıklı sınıflarının sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 5. NB algoritmasının hastalık sınıflandırma sonuçları

Hastalık	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1
Felç	0,49	0,43	0,49	0,46
Larenjit	0,19	0,23	0,19	0,20
Kanser	0,01	0,12	0,01	0,03
Polip	0,0	0	0	-
Reinke Ödemi	0,01	0,5	0,01	0,03
Sağlıklı	0,70	0,57	0,70	0,63

### 4.3. Karar Ağaçları Algoritmasından Elde Edilen Sonuçlar

DT algoritmasının sağlıklı ve hasta sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

Çizelge 6. DT algoritmasının hastalık sağlıklı-hasta sınıflandırma sonuçları

Algoritma Adı	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1
Karar Ağaçları	0,66	0,69	0,69	0,69

DT) algoritmasının veri setindeki reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci ve sağlıklı sınıflarının sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

**Çizelge 7.** DT algoritmasının hastalık sınıflandırma sonuçları

Hastalık (DT)	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1
Felç	0,48	0,46	0,48	0,47
Larenjit	0,14	0,26	0,14	0,18
Kanser	0,08	0,19	0,08	0,12
Polip	0,0	0	0	-
Reinke Ödemi	0,05	0,27	0,05	0,08
Sağlıklı	0,78	0,59	0,78	0,67

#### 4.4. Destek Vektör Makinalarından Elde Edilen Sonuçlar

SVM algoritmasının sağlıklı ve hasta sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

**Çizelge 8.** Destek Vektör Makinaları algoritmasının sağlıklı-hasta sınıflandırma sonuçları

Algoritma Adı	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1 skoru
SVM	0,79	0,82	0,78	0,80

SVM algoritmasının veri setindeki reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci ve sağlıklı sınıflarının sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

**Çizelge 9.** SVM algoritmasının hastalık sınıflandırma sonuçları

Hastalık (SVM)	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1 skoru
Felç	0,68	0,67	0,68	0,68
Larenjit	0,45	0,59	0,45	0,51
Kanser	0,48	0,61	0,48	0,54
Polip	0,22	0,42	0,22	0,29
Reinke Ödemi	0,30	0,64	0,30	0,41
Sağlıklı	0,84	0,71	0,84	0,77

#### 4.5. Rassal Orman Algoritmasından Elde Edilen Sonuçlar

RF algoritmasının sağlıklı ve hasta sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

**Çizelge 10.** RF algoritmasının sağlıklı-hasta sınıflandırma sonuçları

Algoritma Adı	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1 skoru
RF	0,77	0,77	0,82	0,79

RF algoritmasının veri setindeki reinke ödemi, akut larenjit, kanser ve kanser öncesi lekelenme, polip, ses teli felci ve sağlıklı sınıflarının sesleri ayırmasında elde edilen doğruluk (accuracy), hassasiyet (precision), duyarlılık (recall) ve F1 skorları aşağıda tabloda verilmiştir.

**Çizelge 11.** RF algoritmasının hastalık sınıflandırma sonuçları

Hastalık (RF)	Doğruluk	Hassasiyet	Duyarlılık	F1 skoru
Felç	0,57	0,64	0,57	0,60
Larenjit	0,23	0,65	0,23	0,34
Kanser	0,14	0,72	0,14	0,23
Polip	0,02	1	0,02	0,04
Reinke Ödem	0,06	1	0,06	0,12
Sağlıklı	0,92	0,60	0,92	0,73

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada öncelikle ses kısıklığına neden olan reinke ödemi, larenjit, kanser ya da kanser öncesi lekelenme tanısı bulunan, polip, ses teli felçli ve sağlıklı hastalardan oluşan toplamda 652 kişiye ait ses verisi kullanılmıştır. Bu veriler üzerinde k-NN, NB, DT, SVM, RF olarak beş farklı makine öğrenme algoritmaları uygulanmıştır. Her bir algoritma için sağlıklı-hastalıklı ses sınıflandırması yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre hastalıklı-sağlıklı ses ayırmasında en yüksek doğruluk oranı 0,79 ile SVM algoritmalarından elde edilmiştir.

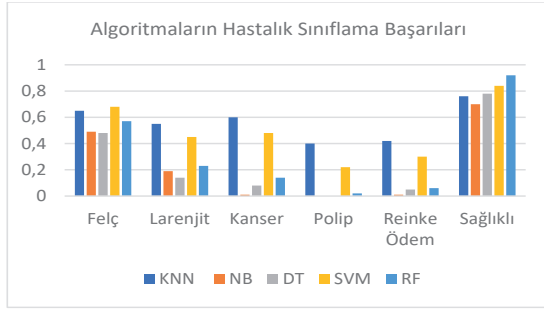
Yaptığımız çalışmada ikinci olarak k-NN, NB, DT, SVM, RF algoritmaları ile reinke ödemi, larenjit, kanser ya da kanser öncesi lekelenme tanısı bulunan, polip, ses teli felçli ve sağlıklı şekilde sınıflama yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre algoritmaların doğruluk oranları aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

**Çizelge 12.** Algoritmaların hastalıkları sınıflamadaki doğruluk oranları

Hastalık	k-NN	NB	DT	SVM	RF
Felç	0,65	0,49	0,48	0,68	0,57
Larenjit	0,55	0,19	0,14	0,45	0,23
Kanser	0,60	0,01	0,08	0,48	0,14
Polip	0,40	0,0	0,0	0,22	0,02
Reinke Ödemi	0,42	0,01	0,05	0,30	0,06
Sağlıklı	0,76	0,70	0,78	0,84	0,92



**Şekil 6.** Algoritmaların hastalıkları sınıflama başarıları



Elde edilen sonuçlara göre hastalıkları sınıflamada en iyi sonucu k-NN algoritması vermiştir. Sınıflamada en başarısız algoritma NB algoritmasıdır. Ses verilerinin patolojilerine göre sınıflanmasında tüm algoritmalarda sağlıklı sınıfı en yüksek doğruluk oranı ile ayrılmıştır. Patolojilerine göre sınıflamada tüm algoritmalarda ikinci yüksek doğruluk oranı ses teli felci sınıfını ayırmada tespit edilmiştir. En başarısız sınıflanan ses verisi polip hastalarına aittir. Elde edilen sonuçlara göre doğruluk oranının veri setinde kullanılan ses verilerinin sayısı ile doğru orantılı olduğu gözlemlenmiştir. En yüksek doğruluk oranıyla sınıflanan ‘sağlıklı’ sesler 2682 adet ses verisiyle veri setinin en büyük sınıfını oluşturmaktadır. Benzer şekilde veri setinin en küçük sınıfı olan 243 ses verisiyle polip sınıfı çalışmada en düşük doğruluk oranıyla sınıflandırılmıştır.

Yapılan çalışma farklı makine öğrenme algoritmalarının ses verileri üzerindeki performansını sunmaktadır. Çalışma sağlıklı-hastalıklı ses verilerini ayırmada başarılı sonuçlar vermiştir. Fakat çalışma hastalıkları sınıflamada yetersizdir. Gelecekteki çalışmalarda veri seti genişletilip zenginleştirilerek algoritmaların tekrar çalıştırılması planlanmaktadır. Çalışmada öznitelik çıkarımı yalnızca MFCC ile yapılmıştır. Gelecekteki çalışmalarda farklı öznitelik çıkarım yöntemlerinin sınıflama başarısına etkisi araştırılacaktır. Ayrıca olarak gelecekteki çalışmalarda mevcut sınıflandırma algoritmalarının performansını artırmak için hiperparametre optimizasyonu yapılması planlanmaktadır. Son olarak ise literatürdeki fuzzy (bulanık) parametrelili fuzzy esnek sınıflandırıcılar üzerinde araştırmalar gerçekleştirilip, çalışmanın bu açıdan analizleri yapılacaktır.

## KAYNAKÇA

- [1] TC. Sağlık Bakanlığı, *Erken teşhis hayat kurtarır*. <https://www.saglik.gov.tr/TR,19826/erken-teshis-hayat-kurtarir.html>, 2016. (Erişim tarihi:15.04.2024).
- [2] Lundberg, S. M., Nair, B., Vavilala, M. S., Horibe, M., Eisses, M. J., Adams, T., Liston, D.E., Low, D. K. W., Newman, S. F., Kim, J. *Explainable machinelearning predictions for the prevention of hypoxaemia during surgery*, Nature biomedical engineering, 2(10), 749-760, 2018.
- [3] Verdolini, K., Ramig, L. O. *Occupational risks for voice problems*. Logopedics phoniatrics vocolog. 26(1), 37-46, 2001.
- [4] Cortes, C., Vapnik, V. *Support-vector networks*. Machine learning, 20, 273-297, 1995.
- [5] Breiman, L., *Random forests*. Machine learning, 45, 5-32, 2001.
- [6] Cover, T., Hart, P., *Nearest neighbor pattern classification*, IEEE Trans. Inf. Theory, 13, 21-27, 1967.
- [7] Dankovičová, Z., Sovák, D., Drotár, P., Vokorokos, L., *Machine learning approach to dysphonia detection*. Applied sciences, 8(10), 2018.
- [8] Khaneja, N., Reiss, T., Kehlet, C., Schulte-Herbrüggen, T., Glaser, S. J. *Optimal control of coupled spin dynamics: design of NMR pulse sequences by gradient ascent algorithms*. Journal of magnetic resonance, 172(2), 296-305, 2005.
- [9] Pham, M., Lin, J., Zhang, Y. *Diagnosing voice disorder with machine learning*, IEEE International conference on big data (big data), 2018.
- [10] Wu, H., Soraghan, J., Lowit, A., Di Caterina, G. *Convolutional neural networks for pathological voice detection*, 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in medicine and biology society (EMBC), 2018.
- [11] Gandhi, A. M., Shanmugan, S., Gorjian, S., Pruncu, C. I., Sivakumar, S., Elsheikh, A. H., Panchal, H. *Performance enhancement of stepped basin solar still based on OSELM with traversal tree for higher energy adaptive control*. Desalination, 502, 114926, 2021.
- [12] AL-Dhief, F. T., Latiff, N. M. A. A., Malik, N. N. N. A., Sabri, N., Baki, M. M., Albadr, M. A. A., Abbas, A. F., Hussein, Y. M., Mohammed, M. A., *Voice pathology detection using machine learning technique*. IEEE 5th International symposium on telecommunication technologies (ISTT), 2020.
- [13] Donoho, D., L., *Compressed sensing*. IEEE Transa-

- ctions on information theory, 52.4: 1289-1306, 2006.
- [14] Wang, W., Chen, Z., Mu, J., Han, T. *Throat polyp detection based on compressed big data of voice with support vector machine algorithm*, Eurasip journal on advances in signal processing, 1-6, 2014.
- [15] Al-nefaie, A. H., Aldhyani, T. H., Koundal, D.. *Developing system-based voice features for detecting parkinson's disease using machine learning algorithms*. JDR. 2024. Vol. 3(1). DOI: 10.57197/JDR-2024-0001.
- [16] Menard, S.. *Applied logistic regression analysis*. Sage Publications, Inc., 2002, <https://doi.org/10.4135/9781412983433>.
- [17] Schapire, Robert E. *Explaining adaboost*. Empirical inference: festschrift in honor of Vladimir N. Vapnik. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p. 37-52 2013.
- [18] Di Cesare, M. G., Perpetuini, D., Cardone, D., Merla, A., *Assessment of voice disorders using machine learning and vocal analysis of voice samples recorded through smartphones*. BioMedInformatics, 4.1: 549-565, 2024.
- [19] Verma, V., Benjwal, A., Chhabra, A. *A novel hybrid model integrating MFCC and acoustic parameters for voice disorder detection*, *Sci Rep* **13**, 22719, 2023.
- [20] Zhang, Z., Zhang, Z. *Artificial neural network*. In: Multivariate time series analysis in climate and environmental research, Springer, pp.1-35, 2018.
- [21] Chen, T., *Xgboost: extreme gradient boosting*. *R package version 0.4-2,1.4*: 1-4, 2015.
- [22] Rish, I. *An empirical of the naive bayes classifier*. IJCAI 2001 workshop on empirical methods in artificial intelligence. 41-46, 2001.
- [23] Breiman, L., Friedman, J.H., Olshen, R.A., Stone, C.J. *Classification and regression trees*, 3rd ed., CRC Press: Wadsworth, OH, USA, 1998.
- [24] Jones, N. N., Song, S. A. *Reinke edema*, StatPearls Publishing, pp. 2-5, 2023.
- [25] Deem, J. F., Miller, L. *Manual of voice therapy*, PRO-ED, Inc., pp.77-100, 2000.
- [26] Kleinsasser, O. *Pathogenesis of vocal cord polyps*. Annals of otology, rhinology laryngology, 91(4), 378-381, 1982.
- [27] Cattaruzza, M., Maisonneuve, P., Boyle, P. *Epidemiology of laryngeal cancer*. European journal of cancer part b: oral oncology, 32(5), 293-305, 1996.
- [28] Terris, D. J., Arnstein, D. P., Nguyen, H. H., *Contemporary evaluation of unilateral vocal cord paralysis*. Otolaryngology-head and neck surgery, 107(1), 84-90, 1992.
- [29] Tucker, H. M. *Vocal cord paralysis etiology and management*. The Laryngoscope, 90(4), 585-590, 1980.
- [30] El Naqa, I., Murphy, M. J. *What is machine learning?*, Machine Learning in Radiation Oncology, pp.3-11, Springer, 2015.
- [31] Cover, T., Hart, P. *Nearest Neighbor Pattern Classification*. *IEEE Transactions on Information Theory*, 13(1), 1967, 21-27.
- [32] Towards Data Science, *kNN (k-En Yakın Komşular)*, Erişim Tarihi: [11/05/2024], <https://towardsdatascience.com/knn-k-nearest-neighbors-1-a4707b24bd1d>, 2018.
- [33] Flach, P. A., Lachiche, N. *Naive bayesian classification of structured data*, machine learning, 57, 233-269, 2004.
- [34] Vapnik, V. *The nature of statistical learning theory*, Springer science business media, 267-290, 2013.
- [35] Grömping, U. *Variable importance assessment in regression: linear regression versus random forest*, The American Statistician, 63(4), 308-319, 2009.
- [36] Viswanathan, V. K. *Surface-level understanding of random forest regression*, medium, 2023. <https://medium.com/@vk.viswa/surface-level-understanding-of-random-forest-regression-3bac37e06f3e>
- [37] Young, S. *A review of large-vocabulary continuous-speech*. IEEE signal processing magazine, 13(5), 45, 1996.
- [38] Shen, P., Changjun, Z., Chen, X. *Automatic speech emotion recognition using support vector machine*. Proceedings of 2011 international conference on electronic mechanical engineering and information technology, 2011.
- [39] Memiş, S., Enginoğlu, S., Erkan, U. *Fuzzy parameterized fuzzy soft k-nearest neighbor classifier*. Neurocomputing, 500, pp. 351 – 378, 2022.

*"This page is left blank for typesetting"*



**HOLISTENCE**  
publications

*Bu sayfa dizgiden dolayı boş bırakılmıştır*



# Kuantum Çağında Hukuk\*

## *Law in the Quantum Era*

Celal Aydın 

Selçuk Üniversitesi, Hukuk Fakültesi Öğrencisi, Konya, Türkiye, e-mail: celal1330@gmail.com

### Öz

İçinde bulunduğumuz yüzyılda hukuk bilimi, birçoğu doğa bilimlerinde geliştirilmiş olan matematiksel ve diğer analitik teknikleri kullanmaya başlamıştır. Hukuk sistemlerinin yapısına, işlevine, tasarımına ve dinamiklerinin analizine yardımcı olacak yeni anlayışlar üretmeye devam etmek gerekmektedir. Bunun için hukuk biliminin diğer disiplinlerden daha fazla yararlanması önem arz etmektedir. Özellikle kuantum fiziği alanı, hızla bilimsel teoriden gerçeğe dönüşmektedir. Bu, benzeri görülmemiş bir potansiyel sunmaktadır. Hukuk bilimi de bu potansiyelden etkilenecektir. Bu çalışmada hukuk alanında özellikle de hesaplamalı hukuk alanında kuantum teknolojilerden ne şekilde yararlanılabileceği, hukuki bilinmezliğin matematiksel olarak hesaplanmasının önemi, insan beyni ve kuantum bilgisayarlar arasındaki benzerlik ve kuantum teknolojilerinin riskleri açıklanacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Hesaplamalı Hukuk, Kuantum Bilgisayar, Entropi, Bağlantısallık, Önleyici Hukuk

### Abstract

In the current century, legal science has begun to use mathematical and other analytical techniques developed in natural sciences. It is necessary to continue producing new understandings that will help analyze the structure, function, design, and dynamics of legal systems. Therefore, it is important for legal science to benefit more from other disciplines. In particular, the field of quantum physics is rapidly turning from scientific theory into reality. This presents an unprecedented potential. The field of law will also be affected by this potential. This study will explain how quantum technologies can be used in the field of law, especially in computational law, the importance of calculating legal uncertainty mathematically, the similarity between the human brain and quantum computers, and the risks of quantum technologies.

**Keywords:** Computational Law, Quantum Computer, Entropy, Connectivity, Preventive Law

\* Bu çalışma Prof. Dr. Ümit Süleyman Üstün'ün danışmanlığında hazırlanmıştır.

Citation/Atf: AYDIN, C. (2024). Kuantum Çağında Hukuk. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 2(2): 73-86, DOI: 10.70447/ktve.2460

**Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:**  
Celal Aydın  
E-mail: celal1330@gmail.com



Bu çalışma, Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

## GİRİŞ

Doğa bilimlerinde yaşanan gelişmelerin hukuka ilişkin görüşler ile bağlantılı olabileceği düşüncesi, en azından hukukçular tarafından yaygın bir düşünce değildir. Oysa aralarında derin bağlantılar olduğu varsayılan bu iki alan, birbirinden karşılıklı olarak etkilenmektedir [1]. Tarihsel süreçte hukuka hâkim olan düşünceler, doğası gereği gelişmelerden etkilenen toplumu takip edecek şekilde uyum sağlamıştır. Bu çalışma, hukukun doğa bilimlerinde özellikle son yüzyılda yaşanan hızlı gelişmeler çerçevesinde önleyici olarak değişmesinin gerekliliğini konu edinecektir.

Genelde hukukun gelişmelere sonradan uyan bir yapıda olduğu düşüncesi hakimdir. Toplum hayatında birtakım değişiklikler meydana gelir ve hukuk, bu değişikliklerden sonra devreye girer. Bu konuda özellikle teknolojik gelişmeler, hukukçuları hukuka bambaşka bir bakış açısıyla bakmaya sevk etmektedir.

Bu konuya bir örnek olarak kripto varlıklar verilebilir. Kripto varlıklar, vergi cennetlerinin yerini alma riski taşıdığından bu varlıkların ortaya çıkardığı sorunların ele alınması gerekli hale gelmiştir. Ancak bu sorunlar geleneksel yöntemlerden farklı olarak ele alınmalıdır. Çünkü hükümetler, vergi mükellefleri ve vergi cennetleri tarafından vergi kaçırılmasını önlemek için bu kurumlara baskı uygulayabilir veya bu kurumlarla anlaşmalar yapabilir. Ancak kripto para birimleri bu seçeneği ortadan kaldırmaktadır. [2]

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte yeni düzenlemeler gündeme gelmektedir. Örneğin 1998 yılında başlatılan ve 2007 yılı sonunda uygulamaya geçen Vergi Dairesi Otomasyon Projesi (VEDOP) sayesinde, vergilendirmeye ilişkin süreçlerin neredeyse tamamı, elektronik ortamda yürütülür hale gelmiştir. E-devlet uygulamalarının en önemlilerinden birisi olan e-haciz ile tahsil dairelerince düzenlenen haciz bildirimleri, alacaklı tahsil dairelerince ya da alacaklı kamu idaresi vasıtasıyla posta yerine elektronik ortamda tebliğ edilmektedir. [3] Bu müesseseler, haciz sürecinin hızlandırılması, takip işlemlerinin etkin yürütülmesi gibi faydalar sağlamaktadır.

Hukukun edilgen olması, sonradan gelişmelere

uyum sağlaması yukarıdaki faydaları sağlayabilir. Ancak öyle bir dönüşümle karşı karşıyayız ki teknolojik gelişmeler gerçekleştiğinde çok geç kalmış olabiliriz. Dolayısıyla hukukçular, bu dönüşümün pasif bir süjesi olmak yerine yönlendirici olmak konumundadırlar ve hatta öyle olmak da zorundadırlar. Bu, aynı zamanda teknik alanlarda çalışanların da bir ihtiyacıdır.

Bu konuda etik çerçeve, etik prensipler gibi önemli hususların ilan edildiği görülmektedir. Ancak bu, tek başına yeterli değildir. Hukuki bir çerçevenin bulunması gerekmektedir. Kısıtlayıcı olmayan belirgin bir hukuki çerçevenin bulunması hem hukukçuların bir görevi hem de bu alanda çalışanların bir ihtiyacıdır. Böylelikle bu alanlarda çalışanlar da kaygılarından arınmış bir şekilde çalışmalarını sürdürebilirler.

Bu anlamda son yüzyılda Newton Çağı'nı kapatıp Kuantum Çağı'nı başlatan kuantum teorisi, dönüşümün önemli bir ayağıdır. Klasik fiziğe göre doğa, düzenli olarak işleyen, rasyonel ve determinist bir yapıdır. Bu yapı bizim dışımızda ve bir saat gibi işleyen mekanik bir yapıdır. [4]

Klasik fizik, büyük ölçekteki şeyleri açıklama konusunda başarılıdır. Ancak klasik fiziğin açıklama getiremediği modern fiziğin atom altı parçacıklar gibi çok küçük şeylerle ilgilenen kısmına kuantum fiziği denir. Teori ve deneyin harika bir uyum gösterdiği bu alanda kat edilmesi gereken çok fazla yol ve potansiyel olarak keşfedilecek pek çok şey vardır.

Kuantum mekaniği, anlaşılması çok zor bir konu gibi görünse de günümüzde yaygın olarak kullanılan dijital kamera, GPS, floresan lamba ve lazer gibi hemen hemen her teknolojiye karşımıza çıkmaktadır. Bugün, yaşantımızı büyük ölçüde kolaylaştırmış olan bu teknolojiye ikincil bir kuantum devriminin eşliğindeyiz. Bu devrim, kuantum hesaplama, kuantum kriptografisi ve kuantum metroloji olmak üzere üç alt kuantum teknolojisine dayanmaktadır. Bu teknolojileri geliştirmede kuantum bilgisayarlar önemli bir rol oynamaktadır.

Kuantum bilgisayarlar, çok karmaşık hesaplamaları kısa sürede yapabilen son derece güçlü bilgisayarlardır. Problemleri aşına olduğumuz bilgisayarlardan farklı bir şekilde çözerler. Kuantum bilgisayarlar, aynı anda çok sayıda durum-

da olabilme yetenekleri olması ve buna karşın klasik bilgisayarların aynı anda sadece bir durumda olabilmesi dolayısıyla belirli problemler için normal bilgisayarlara göre belirli avantajlara sahiptir. Klasik bir bilgisayarın yapı taşlarına bit, kuantum bilgisayarın yapı taşlarına ise kuantum biti ya da kısaca kübit denir. Bunlar temelde süperpozisyon, girişim ve dolanıklık gibi kuantum özellikleri kullanmaktadır.

Kuantum bilgisayarların optimizasyon problemleri, makine öğrenimi, yapay zekâ, finansal modelleme, hava tahmini, iklim değişikliği ve siber güvenlik gibi alanlarda muazzam bir zaman ve para tasarrufu sağlayacağı düşünülmektedir. Fakat bu teknolojinin henüz emekleme aşamasında olduğu bir gerçektir. Örneğin günümüzün kuantum bilgisayarları ileride açıklanacak olan büyük sayıları çarpanlarına ayırabilen Shor'un algoritmasını henüz çalıştıramamaktadır. Bunu yapmak için yaklaşık bir milyon kübite ihtiyaç duyulacağı tahmin edilmektedir. Ancak şu ana kadar en gelişmiş evrensel kuantum bilgisayarlarda yaklaşık 1121 tane kübit [5] vardır.

Bilgisayar endüstrisi geliştikçe daha önceki problemlerle karşılaştırıldığında daha fazla kaynak gerektiren daha karmaşık problemler icat edilmektedir. Buna geçmişten bir örnek olarak yapay sinir ağları verilebilir. 1943 yılında insan aklını taklit ederek insan beyni gibi çalışan veya düşünebilen bilgisayarlar yapma fikri ortaya çıktı. O zamanlar bilgisayarların bu görevi tamamlaması onlarca yıl uzaktaydı. Dolayısıyla son derece düşük bilgi işlem gücü nedeniyle, sinir ağları fikrini ortaya atan kişiler [6] ciddiye alınmadı.

Yaklaşık 10 yıl önce araştırmacılar, 50 yıldan fazla bir süre önce icat edilen yapay sinir ağları fikrini yeniden keşfettiler. Ancak bu sefer uygun bilgi işlem kaynaklarına sahiplerdi. Bunun sonucunda Makine Öğrenimi ve Derin Sinir Ağları alanları hızla gelişti. Bugünlerde sinir ağlarını her yerde görebilmek mümkündür.

Geleceği tahmin edemesek de kesin olarak bildiğimiz şey, daha fazla bilgi işlem kapasitesine sahip olmanın faydalı olduğudur. Dolayısıyla tüm disiplinleri etkileme potansiyeli olan teknolojinin hukuka etkisinin ne şekilde olabileceğini düşünmek ve bunun üzerine çalışmak önem arz

etmektedir.

Hukuk söz konusu olduğunda özellikle hesaplamalı hukuk alanında kuantum bilgisayarların faydalı olabileceği düşünülmektedir. Hesaplamalı hukuk, sosyal olguların dijital ortama aktarılıp bilgisayar sistemleri kullanılarak yapılan analizler sonucu hukuki düzenlemelerin daha anlamlı ve etkin hale getirilmesini amaçlamaktadır [7]. Klasik hesaplama kesinlikle deterministiktir. Aynı algoritma ile farklı çıktılar elde etmeyi sağlayabilen bir algoritma yoktur. Dolayısıyla klasik hesaplama tekrarlanabilir. Eğer şu anda bildiğimiz haliyle hukuk, doğası gereği belirsiz ise o zaman hukuku hesaplanabilir hale getirmek, ona belirliliği empoze etmekle sonuçlanacaktır ki bu da hukukta temel bir değişiklik teşkil edecektir. Dolayısıyla hukukun her zaman deterministik olmadığı düşünüldüğünde deterministik olmayan kuantum hesaplamalı yöntemden hesaplamalı hukuk alanında faydalanmak yararlı olabilecektir.

Bilinen hukuki algoritmalar, hukukçular tarafından karmaşık olarak kabul edilenler dahi hesaplama anlamında karmaşık değildir. Ancak hukukun bilgisayar diline çevrilmesi süreci hızlandıkça yeni ve daha güçlü algoritmalar ortaya çıkacak ve böylece hesaplamalı hukuk alanı da gelişecektir. Bu da karmaşık kuantum-hukuk algoritmaların ortaya çıkmasını kolaylaştıracaktır [8].

Kuantum teknolojisinin hukuka faydalı olarak kullanılabileceği yönlerinin yanında bu teknolojinin yaratabileceği riskler dolayısıyla işletilmesi, geliştirilmesi ve denetlenmesinin hukuki açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada kuantum bilgisayarların eşitsizlikler yaratması veya eşitsizlikleri artırmaması gerekmektedir [9].

## 1. KUANTUM BİLGİSAYARLAR

### 1.1. Kuantum Bilgisayarlarının Genel Özellikleri

İçinde bulunduğumuz çağ, «Bilgi Çağı» olarak adlandırılmaktadır. Bunun nedeni hayatımızda büyük miktarda bilgi paylaşılması ve kullanılmasıdır. Günümüzde bilginin çoğunluğu bilgisayarlar kullanılarak paylaşılmakta ve yayılmaktadır. Bu bilgiler, sıfırlar ve birler

olarak saklanmaktadır. Bu sıfır ve birlere bit denilmektedir.

Aşına olunan bilgiler, (metinlerdeki, videolardaki ve resimlerdeki bilgiler) klasik bilgi olarak adlandırılan bir bilgi türüdür. Ancak her şey klasik bilgiler kullanılarak doğru bir şekilde tanımlanamamaktadır. Bu noktada kuantum bilgiye ihtiyaç duyulmaktadır.

Klasik ve kuantum bilgisayarlar arasındaki temel farklardan biri bilginin nasıl depolandığıdır. Klasik bilgisayarlar bilgi depolamak için sıfır veya bir değerine sahip olabilen bitleri kullanırken kuantum bilgisayarlar sıfır ve birin herhangi bir lineer kombinasyonunu aynı anda tutabilen kuantum bitlerini kullanır [10]. Genel olarak bir kuantum bilgisayarı, bilgiyi kuantum bitleri (veya kübitleri) adı verilen nesnelere depolayan ve bunları kuantum mekaniğinin çok özel özelliklerinden yararlanarak dönüştüren evrensel bir hesaplama cihazı olarak tanımlanabilir [11]. Kuantum bilgisayarların kendine has özellikleri süperpozisyon, girişim ve dolanıklık gibi özelliklerdir.

*Süperpozisyon (Superposition)*, klasik bir bitin sıfır ya da birin farklı değerleri almasından farklı olarak bir kübitin sıfır ya da bir olma olasılığı olarak tanımlanabilir. Dolayısıyla, bir kübit %60 sıfır ve %40 bir olma olasılığına sahip olabilir. Süperpozisyon özelliği, yalnızca dört kübit içeren bir kuantum bilgisayarın aynı anda 16 adet dört basamaklı sayıyı temsil edebilmesi gibi bir avantaja sahiptir. Her bir kübit ile temsil edilebilir durumların sayısı iki katına çıkarken dört bitlik bir diziye sahip klasik bir bilgisayar yalnızca tek bir dört basamaklı sayıyı temsil edebilir [12].

Bu da aynı anda üstel miktarda hesaplama yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Her programın sonunda yalnızca bir hesaplamanın çözümünü okumak mümkün olsa da nihai sonucun tam olarak aranan sonuç olma olasılığını çok yüksek kılan bir kuantum algoritması geliştirmek mümkündür. Örneğin, bir uçağın düşmesine neden olabilecek türbülansın olup olmadığını bulmaya çalışıyor olabiliriz. Klasik bir bilgisayarda hava koşullarının milyarlarca kombinasyonunu simüle etmek ve bunların tek tek sonuçlarını test etmek yerine bir kuantum bilgisayarda neredeyse tüm olası hava koşullarını bir kerede

test edebilir ve yalnızca uçağın düşmesine neden olan sonucu okuyabiliriz [12].

Klasik bilgisayarlar ile kuantum bilgisayarlar arasındaki temel farkın bu olduğu söylenebilir. Klasik bilgisayarlar istenilen herhangi bir durumda olabilir. Ancak aynı anda yalnızca bir durumda olabilirken kuantum bilgisayarlar aynı anda tüm bu durumların süperpozisyonunda olabilir. Ancak bu süperpozisyon durumunda olmanın bir bilgisayarda nasıl yararı olabilir? Bunun için iki bileşene daha ihtiyacımız var.

*Dolanıklık (Entanglement)*, bir kübitin durumunun başka bir kübitin durumuna bağlı olmasıdır. Klasik bir bilgisayarda bitler birbirinden bağımsızdır. Bir bitin durumu, diğer bitlerin durumundan etkilenmez. Ancak kuantum bilgisayarlarda kübitler, birbirleriyle dolanık olabilir. Bu da birlikte büyük bir kuantum durumunun parçası haline geldikleri anlamına gelir. Dolayısıyla, iki kübit dolanık olduğunda kübitlerden biri üzerinde herhangi bir değişiklik yapmak, aynı değişikliğin diğer kübitleri etkilemesine neden olur [13] [14]. Bu durum, kübitlerin birbirinden uzakta olduğu durumlarda bile geçerlidir. Dolayısıyla, dolanıklığın avantajı, bir kübit, etrafındaki diğer kübitleri etkilediğinde hepsinin bir çözüme ulaşmak için birlikte çalışmasıdır [12].

Bu, yeni olasılıkların önünü açmakta ve kuantum bilgisayara bilgiyi klasik bir bilgisayardan farklı bir şekilde işleme yeteneği kazandırmaktadır [15]. Bunun bir örneği, iki klasik bitin bir dolaşık kübit kullanılarak taşınması işlemi olan süper yoğun kodlamadır [16]. Bu süreç özellikle güvenli kuantum anahtar dağıtımını için önemlidir. Bu, kuantum dolanıklığına ve diğer kuantum fenomenlerine dayanan bir kriptografik protokol uygulayan güvenli bir iletişim yöntemidir. İki tarafın yalnızca kendilerinin bildiği ortak bir rastgele gizli anahtar (dolanık kübit) üretmesini sağlar ve bu anahtar, daha sonra mesajları şifrelemek ve şifresini çözmek için kullanılabilir [17].

*Girişim (Interference)*, birbirine dolanık çok sayıda kübitin dalga fonksiyonlarının birbirine eklenerek kuantum bilgisayarın durumunun tanımlanmasıdır. Kuantum bitleri genelde Bloch küresi denilen bir küre ile gösterilmektedir. Bu, bir kübitin durumunu görselleştirmenin ve anlaşılır kılmanın bir yoludur. Ancak kübitler ger-



çekte böyle görünmezler. Gerçekte bir kübitin durumu kuantum dalga fonksiyonu olarak tanımlanır. Dalga fonksiyonları, kuantum mekaniğindeki her şeyin temel matematiksel tanımıdır. Dalgaları birbirine eklediğimizde bu, yapıcı girişim (constructive interference) yaparak daha büyük bir dalga oluşturabilir ya da yıkıcı girişim (destructive interference) yaparak birbirlerini iptal edebilir [18].

Kuantum bilgisayarın genel dalga fonksiyonu, farklı durumların farklı olasılıklarını belirler ve farklı kübitlerin durumlarını değiştirerek kuantum bilgisayarı ölçtüğümüzde farklı durumların ortaya çıkmasını sağlayabilir. Kuantum bilgisayar, aynı anda milyonlarca durumun süperpozisyonunda olabirse de ölçüldüğünde yalnızca tek bir durum elde edilebilir. Dolayısıyla, bir hesaplama problemini çözmek için bir kuantum bilgisayarı kullanırken, doğru cevap olasılığını artırmak için yapıcı girişim kullanmak ve yanlış cevapların olasılıklarını azaltmak için yıkıcı girişim kullanmak gerekir. Böylece ölçüldüğünde doğru cevap ortaya çıkacaktır [18].

## 1.2. Kuantum Algoritmaları

Kuantum bilgisayarlar, yukarıda açıklanan özellikler sebebiyle klasik bilgisayarların çalıştıramadığı algoritmaları çalıştırabilecek nitelikte aletlerdir. Bu tür algoritmalara kuantum algoritmaları denmektedir. Ancak burada klasik bilgisayarları yanlış nitelendirmem için dikkatli olmak gerekmektedir. Çünkü günün birinde birisi tamsayı çarpanlarına ayırma gibi zor problemleri daha verimli bir şekilde çözebilecek çok zekice bir klasik algoritma bulabilir. Bu, çok düşük bir ihtimal olsa da göz ardı edilmemelidir [18].

Ayrıca, Halting problemi gibi hesaplanamayan problemler olarak adlandırılan klasik bilgisayarlarda çözenin imkânsız olduğu kanıtlanmış problemler vardır. Ancak bunların bir kuantum bilgisayarda da çözülmesi imkânsızdır. Yani hesaplama açısından klasik bilgisayarlar ve kuantum bilgisayarlar birbirlerine eşdeğerdir, aralarındaki fark çalıştırabildikleri algoritmalarından kaynaklanmaktadır [18].

Bir kuantum bilgisayarı klasik bir bilgisayarı simüle edebilir. Ancak bir kuantum bilgisayarı klasik bir bilgisayarda simüle etmek, simüle etmeye çalışılan kübit sayısı arttıkça katlanarak

zorlaşır. Bunun nedeni klasik bilgisayarların kuantum sistemlerini simüle etmekte zorlanmasıdır. Ancak kuantum bilgisayarlar, zaten kuantum sistemleri olduğu için bu sorunu yaşamazlar [18].

### 1.2.1. Shor'un Algoritması

İki büyük sayı çarpıldığında cevabı bulmak için çok hızlı, verimli ve klasik bir algoritma vardır. Ancak bu sayıyı oluşturmak için birlikte çarpılan asal sayıların ne olduğunun cevabını bulmak çok daha zordur. Bu, çarpanlara ayırma olarak bilinir ve bu sayılara çarpan denir. Bunları bulmanın bu kadar zor olmasının nedeni, olası faktörlerin arama uzayının çok büyük olmasıdır. Büyük sayıların çarpanlarını bulmak için etkili bir klasik algoritma yoktur [18].

Bu matematiksel özellik, internet şifreleme, güvenli web siteleri, e-postalar ve banka hesapları için kullanılmaktadır. Çarpanlar biliniyorsa şifreler kolayca çözülebilir. Ancak bilinmiyorsa önce bunların bulunması gerekir ki bu da dünyanın en güçlü bilgisayarlarında bile zor bir işlemdir. Bu nedenle 1994 yılında Peter Shor, büyük tamsayıların çarpanlarını verimli bir şekilde bulabilen hızlı bir kuantum algoritması yayınladığında kuantum hesaplama fikri ciddiye alınmaya başlandı. Ancak "hızlı" bir kuantum algoritması dendiğinde, bu algoritma klasik bir bilgisayardan ne kadar daha hızlı olurdu? Bu sorunun cevabı noktasında karşımıza kuantum karmaşıklık teorisi çıkmaktadır [18].

Kuantum karmaşıklık teorisi, algoritmaların kategorize edilmesi ve klasik bilgisayarlarda ne kadar iyi çalıştıklarına göre kümelere ayrılmasıyla ilgilenen hesaplamalı karmaşıklık teorisi dünyasının bir alt alanıdır. Kümelere ayırma, problem büyüdükçe problemi çözenin ne kadar zorlaştığına dayanmaktadır. Örneğin, 8 basamaklı bir sayı çarpanlarına ayrılırsa ve üzerine bir basamak daha eklenirse, yeni sayıyı çarpanlarına ayırmak eskisine göre üstel olarak daha zordur [18].

Shor'un algoritması, tamsayı çarpanlarına ayırma işlemini en iyi klasik algoritmadan çok daha iyi bir ölçeklendirme ile çözebilen bir algoritma yaratmak için kuantum bilgisayarların özelliklerinden yararlanmıştır. En iyi klasik algoritma üstel iken Shor'un algoritması polinomdur. Bu

da karmaşıklık teorisi ve genel olarak bilgisayar bilimi dünyası için büyük bir olaydır. Çünkü çözümlenmesi zor bir problemi kuantum bilgisayarda çözülebilecek bir probleme dönüştürür [18].

### 1.2.2. Kuantum Arama: Grover'in Algoritması

Shor'un yeterince büyük bir kuantum bilgisayarın büyük sayıları çarpanlarına ayırabileceğini göstermesinden iki yıl sonra Lov Grover, uygun şekilde inşa edilmiş bir kuantum bilgisayarı, belirli bir matematiksel özelliğe sahip her türlü hesaplamayı hızlandırabilir şeklinde bir keşifte bulundu. İkinci büyük kuantum hesaplama algoritması olan Grover'in Algoritması, yapılandırılmamış veri listelerini en iyi klasik algoritmadan daha hızlı arayabilen bir algoritmadır. Arama problemi, verilen bir küme içerisinde belli bir koşulu sağlayan bir elemanın yerini tespit etme problemidir. Verilen koşulu sağlayan elemanlara çözüm adı verilir.

**Örneğin bir veri tabanında içtihatlar olduğunu düşünelim.**  $X$ 'e ilişkin olan uyumsuzlukları bulmak istiyoruz. Bu durumda konusu  $X$  olan içtihatların hepsi aslında problemin bir çözümü oluyor. Bu içtihatlardan birinin yerini tespit ettiğimiz zaman bu problemi çözmüş oluyoruz.

Daha teknik bir anlatımla, elimizde bir karar verme fonksiyonu olsun. Buna da diyelim. Bu fonksiyon, eğer elemanlarımızdan biri çözümse bu elemanın indeksi olan  $i$ , sonucunu verir. Eğer elemanımız çözüm değilse  $0$  sonucunu verir. En genel haliyle arama problemi, verilen bir kümede bulunan  $N$  adet eleman içinde  $M$  adet çözümden birinin bulunması olarak tanımlanabilir [19].

Klasik hesaplamayla bu problemin çözülmesi, ortalama  $N/M$ , en kötü durumda ise  $N-M$  deneme gerektirir. Grover algoritması bu problemi mertebesinde bir deneme sayısıyla çözebilir. Grover algoritması, klasik algoritmalarından farklı olarak bir kümedeki elemanları teker teker denemek yerine  $n$  kübitle temsil edilen bir kuantum uzayda rotasyon yaparak arama problemini çözer [19].

Shor'un algoritması, yalnızca nispeten belirsiz sayı teorisi alanına uygulanabilirken, Grover'in algoritması çok çeşitli pratik problemlere geniş bir şekilde uygulanabilir. Grover'in algoritması aramayı hızlarsa da bu, Google ile bir web

sayfası ararken ya da bir muhasebe sistemini kullanarak belirli bir işlemi ararken yaptığımız türden bir arama değildir. Bilgisayarın bir veri tabanını taramasını ve eşleşen bir kayıt aramasını içerir. Grover'in algoritması, böyle bir aramaya uygulanabilse de bunun için tüm veri tabanının bir tür kuantum depolamada saklanması ve tüm veri tabanının kuantum devresinde oynatılması gerekir. Bu da Grover'in algoritmasının sağladığı herhangi bir hızlanmayı ilk etapta ortadan kaldıracak bir süreçtir [20].

## 2. KUANTUM BİLGİSAYARLARININ HUKUKA ETKİSİ

Kuantum teknolojilerinin yukarıda açıklanan özellikleri ve potansiyeli düşünüldüğünde yaşam, birçok açıdan dönüşüm geçirecektir. Hukuk, istisna olmayacaktır [21]. Hukuk, sadece ortaya koyulan normlar anlamında değil daha temelden dönüşecektir. Kuantum teknolojilerinin benzersiz özellikleri sadece yeni olanaklar sunmakla kalmayacak, elbette yeni risk ve tehditler de getirecektir. Bu da muhtemelen hukukun temellerini değiştirebilecek bir potansiyeldir.

Kuantum mantığı, kuantum algoritmaları ve kuantum hesaplamalar hukuku dönüştürebilir ve kuantum normlar, kuantum yargı kararları ve kuantum hukuk düzeni oluşturma konusunda yeni imkanlar sunabilir [22].

### 2.1. Hesaplamalı Hukuk

Hesaplamalı hukuk, hukuki muhakemenin otomasyonu ile ilgilenen hukuk bilişiminin bir dalıdır. Hesaplamalı hukukun pek çok olası uygulaması olmasına rağmen, günümüzde bu alandaki çalışmanın temel odak noktası uyum yönetimi, yani kurallara ve düzenlemelere uyumu değerlendirebilen, kolaylaştırabilen veya uygulayabilen bilgisayar sistemlerinin geliştirilmesi ve konuşlandırılmasıdır. Hesaplamalı hukuk sistemlerini diğer hukuk teknolojisi örneklerinden ayıran şey, özerklikleri, yani hukukçulardan ek girdi almadan hukuki soruları yanıtlama yetenekleridir [23].

Hesaplamalı hukuka dayalı hukuk teknolojisi, hukuk mesleğini önemli ölçüde değiştirme, hukuk hizmetlerinin kalitesini ve verimliliğini artırma ve muhtemelen hukuk firmalarının iş yapma şeklini değiştirme potansiyeline sahiptir.

Dahası bu teknoloji, yalnızca hukuk uzmanlarına değil, toplumdaki herkese hukuki anlayış ve hukuki araçlar sunabilir. Böylece adalete erişimi artırıp bir bütün olarak hukuk sistemini iyileştirebilir.

Bugün itibariyle hesaplamalı hukukun geldiği noktada hl belirsizlikler bulunmaktadır. Yasal uygulamaları değerlendirmek için hesaplama karmaşıklığı teorisinin ne lde kullanılabileceği net olarak belirlenebilmiş değildir. Bu bağlamda hesaplamalı hukuk henüz ilkel durumda kabul edilmekte, ancak yeni ve daha güçlü algoritmalar bulundukça hesaplamalı hukukun sürekli olarak gelişecek bir yapıda olduğu belirtilmektedir [8].

## 2.2. Hukuki Entropinin Hesaplanması

Fizikte entropi kavramı, Clausius'un XIX. yüzyılın ortalarında, belirli bir sıcaklıktaki (T) bir ısı kaynağından ( $\Delta Q$ ), idealize edilmiş bir motora tersinir süreç [24] içerisinde ısı transferinin bir özelliğini tanımlamak için yaptığı çalışmalara dayanır. Bu durumda, Clausius'a göre, sistemin entropisi  $\Delta Q/T$  kadar artar. Benzer şekilde, idealize edilmiş bir motor, T sıcaklığındaki bir ısı alıcısına  $\Delta Q$  kadar ısı aktardığında entropi bu miktarda azalır. Başka bir deyişle, ısı, termodinamik bir sisteme girdikçe sistem soğuksa entropi artar, halihazırda sıcaksa entropi daha azdır [25].

Bazı akademisyenler [26] [27], hukuk sistemlerinin belirsizliğini yasal metinlerdeki kelimelerin "entropi" lmlerini formüle ederek belirlemeye çalışmışlardır. Metinlerdeki kelimelerin belirsizliğini ölçmek birçok durumda değerli olsa da hukuk kurallarının yorumlanmasındaki belirsizliğin kapsamlı bir ölüsünü sağlamaz [25].

Kanun, yönetmelik ve yasal belgelerin metninde mevcut olan belirsizliği veya muğlaklığı ölçmek, genellikle hesaplamalı dilbilim ve ilgili alanlardan yararlanan entropi ölçümlerine dayanmaktadır. Örneğin Katz ve Bommarito, ABD federal kanunlarındaki dilsel entropiye dayalı belirsizliği ölçmüştür. Benzer bir şekilde Friedrich ve diğerleri, mahkemelerin görüşlerinde mevcut olan metinsel belirsizliği ölçmek ve karşılaştırmak için ABD Yüksek Mahkemesi ve Alman Bundegerichtshof görüşlerinin kelime ve belge entropisini incelemiştir [25].

Hukuki yapay zekâ alanındaki son gelişmeler, hukuki sonuçları tahmin etmeye yönelik daha otonom vaatleri büyük lde genişletmiştir. Belki de hukuki entropinin nicelleştirilmesine en çok yaklaşan yaklaşım, hukuki bir uyuzmazlığın sonucunun her bir taraf için eşit derecede olası olduğu durumlarda entropinin maksimum düzeyde olduğunu kabul eden ve "entropiyi hukukta doğrudan kullanabilmek için, hukukunun hukuk dediğimiz tahminler topluluğunu, tahminlerin belirsizlik düzeyindeki varyasyonları sergileyen soyut bir uzaya yerleştirmesi gerekeceğini" belirten D'Amato'nun yaklaşımıdır [28]. Ancak, bu görüşün hemen ardından D'Amato, "Hukuk tamamen kelimelere dklemeyeceği için, sembollere ve uzaylara da dökülemez." demektedir [25]. Her ne kadar hukuk tamamen kelimelere dklemese de 1.4 bölümünde açıklanacak yöntem ile hukuk, matematiksel olarak ifade edilebilir.

Tanımlayıcı entropi, hukukun ilk aşamada, tipik olarak anayasa, kanunlar, yönetmelikler, yargı kararları ve benzerlerinde yazılı semboller halinde formüle edilmesindeki belirsizliği ve ilgili bilgi maliyetlerini içerir. Yorumlayıcı entropi, yalnızca anayasalar, kanunlar ve yönetmelikler değil, aynı zamanda yargı kararları da dahil olmak üzere yazılı yasal belgelerin yorumlanmasındaki belirsizlikle ilgilidir. Bu tür bir çaba sadece metinsel nitelikte olmayıp, çoğu zaman kendileri de belirsiz olabilen kurumsal ve sosyal normlara dayanmayı gerektirecektir. Bu bağlamda hukukun işleyişine ilişkin matematiksel modeller geliştirmek teorik olarak aydınlatıcı olabilir. Bu tür teorik modellemeler, hukuki yapay zekâ alanındaki ilerlemeler için kritik öneme sahiptir [25].

Byleyi matematiksel modeller, hukuk yapay zekâ sistemlerinin hukuki belirsizliği hakkındaki bilgileri nasıl lbileceği ve depolayabileceği konusunda potansiyel bir şablon sunmaktadır. Hesaplamalı hukuk, yapay zekâ ve kuantum teknolojileri alanlarında artan ilerleme ve kesişimler, yakın gelecekte böyle bir modelin geniş lkte gerçekleştirilmesine yol açabilir.

### 2.3. Kuantum Hesaplama ve Hukuk

Hukukta gözlemlenen bilinmezlikler, algoritmaların farklı ve yanlış sonuçlar üretebilmesine yol açabilmektedir. Bu anlamda entropinin hesaplanması ve hukukun matematiksel bir hale getirilmesi faydalı olabilir. Böylesi modeller, bilgiyi daha hızlı işleyen kuantum bilgisayarlar kullanılarak daha iyi modellenabilir.

Klasik hesaplama, hukuktaki kural ve berabereindeki istisnalar tanımlandıktan sonra kural/istisna dinamiğinin üstesinden fazlasıyla gelmektedir. Ancak klasik hesaplama, yeni bir istisnanın ne zaman oluşacağını tahmin etmede yetersizdir. Yeni bir istisnanın oluşması, yerleşik deterministik yoldan bir kopuş teşkil eder. Burada kuantum bilgisayarların sahip olduğu süperpozisyon olgusu bu tür yasal olguların daha iyi modellenmesini sağlayabilir [8].

Belirsizlik, yasal bir sürece girdi olarak hizmet eden bilginin nicelik ve niteliğindeki belirsizlikten kaynaklanır. Hukuki bir sorunun ortaya çıkmasında etkili olan bağlamın sadece çok küçük bir kısmı derlenip mahkemeye aktarılmaktadır. Daha fazla ya da daha az bilgi, sonucu büyük ölçüde değiştirebilir. Buna karşın bağlamın tamamında var olan büyük miktardaki bilginin mahkemede değerlendirilebilmesi neredeyse imkansızdır. Bu noktada hesaplamalı hukuktan ve bu yöntemin yetersiz kaldığı noktalarda kuantum hesaplamalı yöntemden yararlanılabilir.

Kuantum hesaplama, karmaşık hukuki olguların daha anlaşılır modellenmesini sağlayabilir. Şöyle ki; belirsizlik, aynı zamanda çoğu hukuki muhakemenin altında yatan keyfilikten de kaynaklanmaktadır [8]. Buna örnek olarak benzer davalara benzer kararlar vermek verilebilir. Bu, işleri hızlandırır hukuki açıdan faydasız ve boş bir hukuki formüldür. Çünkü benzer davalar yoktur, hukukun karine olarak benzer olduğunu varsaydığı davalar vardır. Ancak bu karinelerin uygulanması diğer belirsizlikleri ortadan kaldırırken aynı zamanda yeni belirsizlikler ortaya çıkarır.

Hesaplamalı hukuk, çok daha eksiksiz bilgi sağlama ve dolayısıyla sonuçların daha doğru olması olasılığını ortaya koymaktadır. Yine de ayrıntı düzeyinde, daha fazla veri daha fazla hesapla-

ma karmaşıklığı yaratır. Bu da veriden yoksun bir ortamda güvenilir bir şekilde işleyen klasik hukuk algoritmalarını artık çalışamaz hale getirebilir.

Yukarıda belirtildiği üzere, kuantum teknolojisi, hukuku algoritmik biçimde ifade etme, uygulama ve analiz etme yeteneklerini büyük ölçüde geliştirmek için kullanılabilir. Bu noktada fizikçilere rehberlik eden metaforlar ve sezgiler, sosyal ve hukuki meselelere ilişkin kavrayışı zenginleştirebilir ve fizikteki belirli gelişmeler üzerine düşünmek, hukukun toplumu şekillendirmede oynadığı önemli role daha önem vermeye ve bunları geliştirmeye yardımcı olabilir.

İlk bakışta, fizik biliminin fenomenlerine hukuki bağlamda atıfta bulunmak tuhaf görünebilir. Ancak tarihsel olarak, doğa bilimlerindeki gelişmelerin doğa bilimleri/sosyal bilimlerin ayrımında zincirleme etkiler yaratması hiç de alışılmadık bir durum değildir [8]. Buna örnek olarak hesaplamalı hukukun ve hukuk analitiğinin ortaya çıkışının normalde ayrı olan matematiksel ve hukuki muhakeme alanlarını kaynaştırması verilebilir.

Kuantum hesaplama teknolojisinin ortaya çıkmasından etkilenebilecek hukuki konularda kuantum hesaplama hukukunun tam olarak nasıl tezahür edeceği şu aşamada spekülatif olmaya devam etmektedir. Zira kuantum hesaplamının hukuk alanına başarılı bir şekilde uygulanması, bir yandan verimli olarak çalışabilen kuantum bilgisayarlarına, diğer yandan da hukuku insan dilinden bilgisayar koduna çevirmek için gelişmiş bir yeteneğe bağlıdır [8].

### 2.4. Bağlantısallık ve Hukuk

Hukukta kullanılan teknolojiler, eksikleri bir kenara bırakıldığında büyük ölçüde fayda sağlarlar. Bu tarz teknolojilerde kullanılan şey, genelde kanunlar, içtihatlar gibi hukuki metinlerin yazı veya sözlü ifadesinin analizidir. Bunları analiz eden makineler, algoritmaları çerçevesinde metinlerden çıkarımlar yaparlar. Bunlara örnek olarak yapay zekâ teknolojisi verilebilir. Yapay zekâ, tecrübelerden öğrenebilen, öğrendiklerini muhakeme edebilen; şekilleri, görüntü ve örüntüleri tanıyabilen, karmaşık problemlere çözümler üretebilen, lisanı anlayarak kelimeler ile işlem



yapabilen ve bilişim dnyasına farklı bir bakış açısı kazandıran bir bilim dalı olarak tanımlanmaktadır [29].

Ancak bunların insan gibi genel ve geniş nitelikte bir iradeye ve kendiliğinden karar verme yeteneğine sahip olduğunu söylemek söz konusu değildir [30]. Aynı zamanda kelimelere dökerken bile zorlandığımız adalet, hakkaniyet, menfaat gibi karmaşık kavramların makinelere aktarılması oldukça zordur. Bunun nedeni dil ile ifade etmenin zorluğudur.

Dil, çok etkin bir iletişim sistemidir ve dilin varlığı öğrenmeyi oldukça kolaylaştırmaktadır. Ancak beynin kendisi sözcükler üzerinden çalışmamaktadır. Çünkü dil bir arayüzdür ve dil aracılığıyla ifade edilen her şey her zaman gerçeğe en yakın üretilen yalandır [31]. Gerçekte beyin, kendi matematiğı içerisinde çalışmaktadır. Dolayısıyla bu kavramların insan beyninde matematiksel bir karşılığı olduğu söylenebilir.

Facebook laboratuvarlarında yapılan bir deneyde Bob ve Alice adlı yapay zekâ motorları sonsuz konuşmaya bırakıldı. Bir süre sonra onları planlayan kişilerin bilmediğı arayüzler, kısayollar geliştirdiler. Bu kısayollar, bir süre sonra onları planlayanların bilmediğı yeni bir dil oluşturdu. Sonrasında ne konuştukları anlaşılmadığı için fişleri çekildi [32].

Bu örnekten yola çıkarak iki tane değil de bir milyon yapay zekanın konuşturulduğu bir senaryoda ortaya bambaşka bir dil çıkacağı bir gerçektir. Diller zaten insanlar için de böyle ortaya çıkmaktadır. Ancak beyin, dil üzerinden konuşmamaktadır. Bu sebeple bilinç, genelde dil olarak düşünülür. Öyle ki dil olmadığı zaman bunun bilinçaltı olduğu söylenir. Ancak enformasyon matematiğı böyle değildir. Enformasyon matematiğinde bilinçaltı yoktur[31].

Yaşama karşı bakış açımız hep insan merkezlidir. Bu sebeple kendimizin ürettiğı zekayı doğal zekâ olarak, kendimizin dışındaki zekayı ise yanlış bir biçimde yapay zekâ olarak tanımlıyoruz [33]. Gerçekte zekâ, onu oluşturan organizmadan bağımsız bir şeydir. Dolayısıyla gerçekte yapay zekâ ya da doğal zekâ diye bir şey yoktur, yaşama ait olan tek bir enformasyon sistemi vardır. Üretilen bütün bilgi, yaşam dediğimiz bu esas varoluş bütününün kodlamaları olan siste-

min ürünüdür[31]. Deterministik dünyadan matematiğın ortaya koyduğu bağılantısallık üzerine kurulu olan bu sisteme bakıldığında bu sisteme kaos hâkim gibi gözükmektedir. Bunun nedeni, deterministik olmayan bir sisteme alışık olduğumuz deterministik şekilde bakmaktır.

Eskiden deterministik sanılan sistem, yaşamı da aynı şekilde anlamaya sebebiyet veriyordu. Bu anlayış John Wheeler'in yaptığı çift yarık deneyinde [34] değışmeye başladı. Buna göre bir ışık tanesi, foton veya dalga gibi davranabilir ve bu durum gözlemciye göre farklılık gösterir. Yapılan bu tespit ile sistemin deterministik olmayabileceğı anlaşıldı.

Yeni bilimin öğrettiğı en önemli şey, yaşamın yapıtaşının atom olmadığıdır. Yaşamın yapıtaşı gerçekte enformasyondur. Enformasyon işleyen her sistem er ya da geç zekâ üretir. Buna otopoiesis denir [31]. Bu oluşan zekâ, yaşamı değıştirmektedir. Yaşamın kendisi de enformasyon işleyen üst bir sistem olarak kendini oluşturan parçaları değıştirme özelliğine sahip dolanık bir sistemdir.

Her enformasyon üreten sistemin er ya da geç zekâ üretmesinin tasavvuru oldukça zordur. Örnek vermek gerekirse 2018'de Duke Üniversitesi laboratuvarlarında tek kök hücreden türemiş olan 1 milyon nörona sahip mini beyinin EEG dalgası (elektroensefalogram) yani enformasyon ürettiğı keşfedildi [35]. Esas çarpıcı olan şey, bu EEG dalgasının anne karnında büyümeye çalışan embriyonun beyinde ürettiğı EEG dalgası ile aynı olmasıdır. Dolayısıyla enformasyon taşıyan her sistem aslında canlılık taşımaktadır denilebilir [31].

Sea Elegance (Caenorhabditis elegans) adında 302 nörona sahip bir solucanını konu alan bir başka deney, her bir nöronun kalıcı veya geçici olarak devre dışı bırakılmasının bu hayvanın yaşantısını nasıl etkilediğini öğrenmeye yardımcı oldu. Bu hayvan, yaşam içerisinde seçimler yapmaktadır. Hayvanın seçimleri, nöral paternler oluşturmaktadır. Bu paternlerden hayvanın aç olduğu veya cinsel dürtüsünün olduğunun tespiti yapılabilmektedir. Bu paternin matematiğı bulunarak hayvanın kararının ne olduğu anlaşılıp test edilebilmektedir [36].

Duke Üniversitesinde yapılan bir deneyde yu-

karıda bahsedilen solucanların bulunduğu akvaryumun kenarına glikoz konuluyor. Solucan, gidip gitmemek arasında bir karar veriyor. Bu karar, az sayıda nöron olması sebebiyle makine dili olarak algoritmaya dönüştürülebilir. "1. nöron 1. saniyede nasıl? 2. nöron nasıl? ... 302. nöron nasıl?" tüm bunlar ölçülüyor ve bu sonuçların hepsi bir basit lego motora aktarılıyor. Bu lego motorun aynen bu solucanın yaptığı davranış paternini sağladığı gözlemlendi. Yani organizmanın ürettiği zekâ, bir kez üretildikten sonra artık o organizmaya ait değildir. Zekâ, yaşama ait olan bir sürece dönüşmektedir [31].

ABD'de Human Connectome Project [37] adında bir proje, bir önceki deneyin insana uyarlanmasını konu almaktadır. Bu deneyde insan beynindeki nöron ve bağlantı sayısının çok fazla olması sebebiyle her bir nöronun yarattığı patern, solucanların aksine bilinmemektedir. Ancak 100 milyon nöronun bir araya gelip oluşturduğu elektrokimyasal yol test edildi ve böylelikle beyindeki 100 milyar nöronun her biri tespit edilemese de bunların bütünlüklerinin oluşturduğu fizyolojik bağlantısallık ırmakları manyetik rezonans ile görülebilir hale geldi. Böylelikle beyindeki 1000 merkezin birbiriyle nasıl bağlandığı ve zaman içerisinde bu bağlantısallığın nasıl değiştiği test edebilir hale gelmeye başladı. Bu sayede beynin nasıl çalıştığını anlamaya büyük faydalar sağlayan Connectome haritaları elde ediliyor [31].

Hukuk; evrimleşen, dinamik, sosyal ağları oluşturan bütünü sosyal gerçekliği yorumlamasına dayanan bir yapıdır. Sosyal gerçekliğin bir parçası olan adalet, bütüne bakıldığında yaşamın da temelidir. Bugünkü hukukumuz insanın hakkını yaşama karşı korumaktadır. İhtiyacımız olan hukuk ise yaşamın hakkını insana karşı koruyan bir hukuk olmalıdır. Bu nedenle yaşama benzer bir bağlantısallık modeli olan nöronların nasıl düşündüğüne ait matematik model, esasında yaşamın kendisine dolayısıyla hukuka da uygulanabilir bir modeldir. Daha önemlisi bu modelde hiyerarşi yoktur. Çünkü beyinde her nöron diğeri kadar öneme sahiptir [31].

Bütünleyici bir sistemin de kendini ve parçalarını değiştirme özelliği vardır. Yani bütün, tıpkı kuantum mekaniğine özgü olan dolanıklık özelliği gibi onu oluşturan parçaların aritmetik

toplamından fazladır. Bu fazlalığın nereden geldiğini soran ilk kişi Schrödinger'dir. Buna göre bu fazlalık, termodinamiğin ikinci yasasına göre olmaması gereken bir şeydir.

Buna ilk yanıt, 70'lerde Ilya Prigogine tarafından verildi [38]. Buna göre biyolojik sistemler, termodinamiğin ikinci yasasına uymak zorunda değildirler. Bunlar, farklı bir biçimde yasalara uyarlar. Enformasyon işleyen sistemlere bakacak olursak termodinamiğin ikinci yasasına hiç uymuyorlar. Bu nedenle yaratıcılık ortaya çıkmaktadır. Sistemler farklı bir şekilde bağlandıkları zaman farklı şeyler oluşturabiliyor. Bütün mesele olasılıklar üzerinde giden matematiğin hesabıdır. Bu sebeplerle beyindeki bu bağlantısallığın matematiği konusunda bugüne göre daha çok derinleşebilirsek o zaman belki yeni bir yaşam modeli elde edebilme şansımız oluşabilir [31].

Matematiğinin ortaya konulmadığı bir düşünce biçiminin geçerliliği daha azdır. İnsanın hukuki kavramları algılayışının matematiksel formülasyonu ve bu formülasyonun "yapay" sistemlere aktarılması, bahsedilen kavramların dil ile ifadesinin doğurduğu zorlukları ortadan kaldırmaya yardımcı olabilir. Ancak şu bir gerçektir ki insan beyni karmaşıklığı karşısında klasik bilgisayarlar, bu formülasyonu simüle etmede yetersiz kalabilir. Bunun için muhtemelen daha farklı ve daha güçlü aletlere ihtiyaç olacaktır.

Kübitlerin davranışları, ilişkili buldukları diğer kübitlerin davranışlarından etkilenebilmektedir ki buna dolanıklık denilmektedir. Nöronlarda da benzer bir davranış gözlemlenebilir. Ayrıca kübitlerdeki gibi süperpozisyon durumuna benzer bir halde bulunabilirler. Sonuç olarak nöral davranışlar veya olgular, bir matematiksel formülasyonla izah edildiğinde bunu çalıştırabilecek olan şey, kuantum bilgisayarlarından başka bir şey değildir. Bu sayede insanın düşünce sistemi matematiksel olarak ifade edilebilir ve hukuki kavramlar daha doğru şekilde formüle edilebilir. Böylelikle insan gibi karar verebilen hatta belki de insandan farksız makineler oluşturulabilir.

Hukuki düşünceyi matematiksel olarak modelleyip ifade eden, kuantum bilgisayarında simüle eden bir sistem, insandan daha iyi değerlendirmeler yapabilir ve adil yargılanma hakkı nok-

tasında fayda sağlayabilir. İlkel sayılabilecek günümüz yapay zekâ sistemlerinde dahi bu tarz faydalar gözlemlenmektedir.

Şu bir gerçektir ki henüz böylesi bir bilgisayara sahip değiliz. Her bir kuantum biti, sistemi karmaşıklaştırdığı için sistemler oldukça kırılımandır. Dolayısıyla nöronlar gibi karmaşık bir yapıyı ele alacak bir kuantum bilgisayarı oluşturmak oldukça zorlu olacaktır. Ayrıca tüm nöronların net bir şekilde haritalarını çıkarabilmek de henüz mümkün değildir. Ancak bunlar, teknolojinin gelişim hızı düşünülduğünde gelecekte çözülebilir problemler haline gelebilir. Bu zaman gelene kadar bu tarz teknolojilerin geliştirilmesi ve riskleri noktasında önleyici bir yaklaşımın sergilenmesi önem arz etmektedir.

## 2.5. Kuantum Teknolojilerinin Hukuki Riskleri

Kuantum bilgisayarların teknik karmaşıklığı, sadece çok az sayıda şirket ve ülkenin bunları inşa edip kullanabileceği anlamına gelmektedir. Kuantum bilgisayarların herhangi bir şifreleme mekanizmasının üstesinden gelebileceği varsayılmaktadır. Bu da kuantum bilgisayarların geleneksel şifre koruma mekanizmalarını kırabileceği anlamına gelmektedir. Eğer durum böyleyse, kuantum bilgisayarı olan aktörler, şirketler veya devletler kuantum bilgisayarı olmayanlara göre açık bir avantaja sahip olacaktır. Bu da kuantum bilgisayarı olmayanların bilgiyi kuantum bilgisayarı olanlardan koruyamayacakları anlamına gelmektedir. Kuantum bilgisayarların eşitsizlikleri artırma ve bireylerin özerkliğini zayıflatma potansiyeli göz önüne alındığında, kuantum bilgisayarların denetimden kaçmamasını sağlamak son derece önemlidir[9].

Bunun için Jeutner'ın önerdiği şekilde kuantum teknolojilerine eşit erişimi sağlayacak önlemler alınabilir [9]. Bu, örneğin, bulut hizmetleri aracılığıyla erişim ile sağlanabilir. Kuantum bilgisayar sahibi olan şirketler, kuruluşlar veya devletler, belirli süreler için diğerlerine internet aracılığıyla belli bilgisayar kapasitelerini kullanıma sunabilirler. Bu model, kuantum bilgisayarlarına herhangi bir yerden erişim sağlaması nedeniyle önemlidir.

Elbette, bulut çözümleri, birkaç aktör tarafından belirlenen donanım standartlarının sorununu çözmez. Ancak en azından donanımın eşitsiz

dağılımını hafifletebilir ve kuantum bilgisayarlarının araştırma ve geliştirme çalışmalarına katılımı artırabilir.

Devletler, kesinlikle bu alanda hukuki normları yürürlüğe koymayı düşünmeye hazır olmalıdır. Bu düzenlemeler, kamu yararı ile bireylerin hakları arasında adil bir denge ve orantılılık sağlamalıdır. [3] Çünkü uzayda, derin denizde ve en son COVID-19 aşı dozlarının dağıtımını konusundaki deneyimler, kârlı eğilimleri hukuki yollarla kontrol altında tutmanın gerekliliğini gösterdi. Bu tür düzenleyici önlemlere patentlerin maddi veya zaman tabanlı kapsamını sınırlamak veya belirli alanlarda teknoloji transferini zorunlu kılmak örnek verilebilir[9].

Kuantum bilgisayarlar, herhangi bir teknoloji gibi, öncelikle erişime sahip olanları öne çıkarma riski taşımaktadır. Ancak daha büyük veri kütlelerini analiz etme, daha iyi ölçüm araçları geliştirme, aşuları geliştirme veya bilgiyi daha güvenli bir şekilde iletim, kuantum bilgisayar erişimine sahip olmayanlar için pek bir fayda sağlamayacaktır. Yüksek maliyetler ve uzmanlık gerektiği göz önüne alındığında, kuantum bilgisayarların inşası ve işletimiyle ilgili olarak yüksek teknolojiye sahip gelişmiş ülkeler önemli bir stratejik avantaj elde ederken diğer ülkeler "kuantum yoksulluğuna" düşebilir [9].

Geçmişte, yeni teknolojilerin ortaya çıkma sürecinde etik öneriler geliştirme şansları kaçırıldı. Bu da suçluların tespitinde kullanılan yapay zekanın yüz tanıma özelliğinin ırkçılığa yol açması gibi ciddi problemlere sebebiyet verdi. Örneğin Amerika'da meydana gelen bir olayda polis, araba hırsızlığı olayına karışan bir kadının kamera kayıtlarından ulaştığı yüzünü DataWorks Plus adlı bir yüz tanıma aracına yüklemiş, yapay zekâ aramayı tamamlayınca Woodruff adlı 32 yaşında 8 aylık hamile bir siyahi kişinin ismini vermiş, bu kişi daha sonra tutuklanmıştır. Yapay zekâ bu sonuca varırken Woodruff'un sisteme kayıtlı 8 yaşındaki fotoğrafını kullanmış ve yanlış sonuca ulaşmıştır [30]. Bu bağlamda kuantum teknolojiler hayatımıza yapay zekâ kadar net bir biçimde girmemiş olsa da daha ağır örneklerin yaşanmaması için kuantum teknolojileri ile ilgili daha önleyici bir pozisyon alınmalıdır.

Burada bahsedilen riskler, fazla kötümser ve

abartılı gözükebilir. Kuantum bilgisayarların gelişimi toplumu olumlu yönde etkileyebilir. Ancak bu, yukarıda belirtilen endişeleri ele almak ile çelişmez. Aksine, kuantum bilgisayarlara ilişkin risklerin ele alınmaması, kuantum bilişimin olumlu potansiyelinin tam olarak gerçekleşmesini engelleyebilir. Bireyler, şirketler ve devletler, zararlı yan etkileri kabul edilmiş ve hukuki anlamda güvence altına alınmış bir teknolojiye çok daha açık olacaklardır.

### 3. SONUÇ

Her hukuk sisteminde yasama organının geleneksel görevi, toplumun kolektif çıkarlarını yorumlamak ve yasama yoluyla hangi davranışların yasal olduğunu tanımlamaktır. Uzun süredir kabul edilen bir gerçek, bu şekilde ilan edilen yasaların sadece adil ve eşit olmakla kalmayıp aynı zamanda anlaşılır, erişilebilir, kabul edilebilir ve uygulanabilir olması gerektiğidir. Ancak günümüz toplumunda bu artık yeterli değildir. Sorunlara yanıt vermek ve çözmek önemli olmaya devam ederken sorunların nedenlerini önlemek daha önemli hale gelmiştir. Artık yüzyıllardır süregelen gelişmelere sonrada uyum sağlayan hukuk yaklaşımını terk etme, önleyici bir yaklaşım benimseme, geriye değil ileriye bakma, hukukun günlük yaşamda nasıl kullanıldığına ve düzenlemeye çalıştığı toplumda nasıl karşılandığına odaklanma zamanı gelmiştir. Bu bağlamda gelişen teknolojiler noktasında önleyici sistemlerin hazırlanması ve bu teknolojilerin hukuk alanında nasıl daha etkili kullanılacağına daha fazla tartışılması gerekmektedir.

Bunun için bu çalışmada öncelikle bu teknoloji için kritik öneme sahip olan kuantum bilgisayarların ne olduğunu anlamak için bu bilgisayarların süperpozisyon, dolanıklık ve girişim fenomenlerinin genel özellikleri açıklandı. Ardından ünlü kuantum algoritmalarına kısaca değinildi. Devamında teknolojinin hukuka yansımaları olan hesaplamalı hukuk alanının fayda ve eksikliklerinden bahsedildi. Ardından doğa bilimlerindeki ve hukuk teorisindeki belirsizlik ile entropi kavramı arasında paralellikler kuruldu. Hukukta gözlemlenen bilinmezliklerin algoritmaların farklı ve yanlış sonuçlar üretebilmesine yol açabilmesi sebebiyle hukuki entropinin hesaplanması ve hukukun matematiksel bir hale

getirilmesi faydalı olabilir. Böylesi modeller, bilgiyi daha hızlı işleyen kuantum bilgisayarlar kullanılarak daha iyi modellenebilir. Bu anlamda fizikçilere rehberlik eden metaforlar ve sezgiler, sosyal ve hukuki meselelere ilişkin kavrayışımızı zenginleştirdiği gözlemlendi. Dolayısıyla fizikteki belirli gelişmeler üzerine düşünmek, hukukun toplumu şekillendirmede oynadığı önemli role ilişkin daha derin kavrayışlardan bazılarına tutunmaya ve bunları geliştirmeye yardımcı olabilir sonucuna ulaşıldı. Devamında hesaplamalı hukuk alanının eksikliklerini giderebilecek ve hukuk alanında kuantum teknolojilerden yararlanmayı sağlayacak bir yöntem olarak kuantum hesaplamalı hukuk açıklanmaya çalışıldı. Ardından beynin düşünme süreci ile kuantum teknolojiler arasında bağlantı kurularak beyindeki bağlantısallığın matematiğinin hukuka uyarlanmasını öneren bir yöntem açıklandı. Bu anlamda kuantum bilgisayarların mevcut hesaplamalı hukuk algoritmalarını geliştirilebilmesinin yanında mevcut hesaplamalı hukuk algoritmalarının dil merkezli olmasının eksikliğini de kuantum bilgisayarlar ile giderilebileceği tespiti yapıldı. Bu dil merkezli yapının tam olarak gerçeği yansıtmadığı, bu nedenle eksikliklerini azaltmak için beynin matematiğinin ortaya çıkarılmasının hukuktaki bilinmezliği azaltacağından ve bu matematiğin ortaya çıkarılması adına yapılan çalışmalardan bahsedildi. Kuantum bilgisayarlar ile benzer özellikler gösteren beynin matematiğini ortaya çıkarılırken yine kuantum bilgisayarların faydalı olabileceğinden bahsedildi. Böylelikle insan gibi düşünebilen bir kuantum makinenin en az insan kadar tutarlı fakat daha hızlı kararlar verebilmesinin, kanunlar üretebilmesinin mümkün olabileceğinden bahsedildi. Son olarak kuantum teknolojilerinin potansiyel riskleri ve bu riskler konusunda önleyici önlemler almanın önemli olduğu sonucuna ulaşıldı.



## KAYNAKÇA

- [1]Tatar, Dilara Buket *Doğa Bilimlerinin Hukuk Felsefesine Etkisi: Modern ve Postmodern Paradigma Ekseninde Bir Değerlendirme*, Yayınlanmış Doktora Tezi, Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ankara 2019.
- [2]Durdu, M., Üstün, Ü. S. *Taxation of Crypto Assets: The Example of U.S. Federal Income Tax*, Annales de la Faculté de Droit d'Istanbul, 2024.
- [3] Üstün, Ümit Süleyman *Elektronik Haciz Uygulamasının Değerlendirilmesi*, Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, C.18, S.2, 2010, s. 9-37.
- [4]Kozak, İbrahim Erol *Hukuk Felsefesi ve Sosyolojisi*, Palet Yayınları, Konya, 2018.
- [5]Davide, Castelvechi *IBM Releases First-Ever 1,000-Qubit Quantum Chip*, <<https://www.scientificamerican.com/article/ibm-releases-first-ever-1-000-qubit-quantum-chip/>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [6]McCulloch, W. S., Pitts, W. *A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity*, Bulletin of Mathematical Biophysics, C.5, 1943, s.115-133. <<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02478259>> (Erişim Tarihi: 2 Nisan 2024).
- [7]Çamkerten, A. S., Kulular İbrahim, M. A. *Hesaplamalı Hukuk*, Necmettin Erbakan Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, C. 6, S. 1, 2023, s. 160-182. <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/2758540>> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2024).
- [8]Atik, J., Jeutner, V. *Quantum Computing and Computational Law*, Law, Innovation and Technology, 2021, s. 302-324. <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17579961.2021.1977216>> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2024).
- [9]Jeutner, Valentin *The Quantum Imperative: Addressing the Legal Dimension of Quantum Computers*, Morals & Machines, 2021, s. 52-59. <<https://ssrn.com/abstract=3820003>> (Erişim Tarihi: 30 Mart 2024).
- [10]Steane, Andrew *Quantum computing*, Reports on Progress in Physics, C. 61, S. 2, 1998, s. 117-173. <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0034-4885/61/2/002>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [11]Ding, Y., Chong, F. T. *Quantum Computer Systems: Research for Noisy Intermediate-Scale Quantum Computers*, Morgan & Claypool, 2022, s. 29.
- [12]Rietsche, R., Dremel, C., Bosch S., Steinacker L., Meckel M., Leiminister J. *Quantum Computing*, Electron Markets, C. 32, 2022, s. 2525–2536. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-022-00570-y>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [13]Einstein, A., Podolsky, B., Rosen N. *Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?*, American Physical Society, C. 47, S. 10, 1935, s.777-780. <<https://journals.aps.org/pr/abstract/10.1103/PhysRev.47.777>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [14]Schrödinger, Erwin *Discussion of Probability Relations between Separated Systems*, Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, C. 31, S. 4, 1935, s. 555-563. <[http://journals.cambridge.org/abstract\\_S0305004100013554](http://journals.cambridge.org/abstract/S0305004100013554)> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [15]Mooney, G. J., Hill, C. D., Hollenberg L. C. L. *Entanglement in a 20-Qubit Superconducting Quantum Computer*, Scientific Reports, C. 9, S. 1, 2019. <<https://rdcu.be/dC7nr>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [16]Harrow, A., Hayden, P., Leung D. *Superdense Coding of Quantum States*, Physical Review Letters, C. 92, S. 18, 2004. <[https://www.researchgate.net/publication/8536262\\_Superdense\\_Coding\\_of\\_Quantum\\_States](https://www.researchgate.net/publication/8536262_Superdense_Coding_of_Quantum_States)> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [17]Scarani, V., Bechmann-Pasquinucci, H., Cerf, N. J., Dušek, M., Lütkenhaus, N., Peev, M. *The Security of Practical Quantum Key Distribution*, American Physical Society, C. 81 S.3, 2009. <<https://arxiv.org/pdf/0802.4155.pdf>> (Eriřim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [18]Domain of Science, *The Map of Quantum Computing - Quantum Computing Explained* <<https://youtu.be/-UlXHPIEVqA>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [19]Çalıkıylmaz, U., Turgut, S. *Quantum Search in Sets with Prior Knowledge*, Yayınlanmış Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara 2021.
- [20]Hoofnagle, C. J., Garfinkel, S. L. *Law and Policy for the Quantum Age*, Cambridge University Press, Cambridge 2021.
- [21]Gromova, E. A., Petrenko, S. A., *Quantum Law: The Beginning*, Journal of Digital Technologies and Law, C. 1, S. 1, 2023, s. 62-88. <<https://www.lawjournal.digital/jour/article/view/147>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [22]Atik, Jeffery *Quantum Computing and the Legal Imagination*, SciTech Lawyer, 2022, s. 12-16. <<https://ssrn.com/abstract=4087044>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024).
- [23]Genesereth, Michael *What is Computational Law?* <<https://law.stanford.edu/2021/03/10/what-is-computational-law/>> (Erişim Tarihi: 31 Mart 2024)



- [24]"Tersinir; kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak geri dönüştürülebilir demektir. Örneğin maddenin hal değiştirmesi olayları tersinirdir. Maddenin hal değiştirmesi olaylarından erimeye örnek verecek olursak; bir buz eritip su haline getirdiğinizde suyu tekrar soğutup buz haline getirebilirsiniz, bu tersinir bir işlemdir." <<https://tr.wikipedia.org/wiki/Tersinir>>.
- [25]Sichelman, Ted *Quantifying Legal Entropy*, *Frontiers in Physics*, C.9, S.21, 2021, s. 106-120. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphy.2021.665054/full>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024)
- [26]Katz, D. M., Bommarito, M. J. *Measuring the complexity of the law: the United States Code*, *Artificial Intelligence and Law*, C. 22, 2014, s. 337-374. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10506-014-9160-8>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024).
- [27]Friedrich, R., Luzzatto, M., Ash, E. *Entropy in Legal Language*, *CEUR*, s. 25-30. <<https://ceur-ws.org/Vol-2645/paper4.pdf>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024).
- [28]D'Amato, Anthony *Legal Uncertainty*, *California Law Review*, C. 71, S. 1, 1983, s. 1-55. <<https://www.jstor.org/stable/3480139>> (Erişim Tarihi: 1 Nisan 2024)
- [29]Akkurt, Sinan Sami *Yapay Zekânın Otonom Davranışlarından Kaynaklanan Hukukî Sorumluluk, Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi*, C. 7, S.13, 2019, s. 41. <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/742574>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [30]Akbulut, Berrin *Yapay Zeka ve Ceza Hukuku Sorumluluğu*, *Hacı Bayram Veli Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi*, C. 27, S. 4, s. 267-318. <<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3316184>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [31]Kılıç, Türker *Yeni Bilim: Bağlantısallık - Yeni Kültür: Yaşamdaşlık*, 1. Baskı, Palet Yayınları 2021.
- [32]Nieva, Richard *Facebook Shuts Down Chatbots That Created Secret Language*, <<https://www.cbsnews.com/news/facebook-shuts-down-chatbots-bob-alice-secret-language-artificial-intelligence/>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024) & KILIÇ, s. 44.
- [33]Stern, M., Murugan, A. *Learning Without Neurons in Physical Systems*, *Annual Review Of Condensed Matter Physics*, C. 14, 2023, s. 417-441. <<https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev-conmatphys-040821-113439>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [34]Wheeler, John Archibald *The 'Past' and the 'Delayed-Choice' Double-Slit Experiment*, *Mathematical Foundations of Quantum Theory*, 1978 s. 9-48. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-473250-6.50006-6>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [35]Trujillo, Gao, Buchanan, Preissl, Wang, . . . , *Muotri Complex Oscillatory Waves Emerging from Cortical Organoids Model Early Human Brain Network Development*, *Cell Stem Cell*, C. 25, S. 4, 2019. <<https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S1934-5909%2819%2930337-6>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [36]Ripoll-Sánchez, Watteyne, Sun, Beets, Vértes, . . . , Schafer *The Neuropeptidergic Connectome Of C. Elegans*, *Neuron*, C. 111, S. 22, 2023, S. 3570-3589. <<https://Www.Cell.Com/Action/ShowPdf?Pii=S0896-6273%2823%2900756-0>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [37]<<http://www.humanconnectomeproject.org/>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).
- [38]Prigogine, Ilya *Time, Structure, and Fluctuations*, *Science*, C. 201, S. 4358, 1987, s. 777-785. <<https://www.science.org/doi/10.1126/science.201.4358.777>> (Erişim Tarihi: 4 Nisan 2024).

# PSO ve BA Algoritmalarının Farklı Test Fonksiyonları Üzerinde Karşılaştırmalı Analizi

## *Comparative Analysis of Particle Swarm Optimization and Bat Algorithm on Various Test Functions*

İbrahim Işıklı<sup>1</sup> 

Bayram Köse<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> İzmir Bakırçay Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, e-mail: [isikli.ibrahim@outlook.com](mailto:isikli.ibrahim@outlook.com)

<sup>2</sup> İzmir Bakırçay Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye, e-mail: [bayram.kose@bakircay.edu.tr](mailto:bayram.kose@bakircay.edu.tr)

### Öz

Bu çalışmada, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Yarasa Algoritması (BA) gibi doğadan ilham alan optimizasyon algoritmalarının performanslarını çeşitli test fonksiyonları üzerinde karşılaştırılmıştır. Analizler, her iki algoritmanın farklı test fonksiyonları üzerindeki performansını değerlendirmektedir. Bulgular, her iki algoritmanın da belirli test fonksiyonları için benzersiz güçlü ve zayıf yönlerine işaret etmektedir. Çalışmada, doğadan ilham alan optimizasyon algoritmalarının optimizasyon problemlerine yönelik etkili çözümler sağlama potansiyelini vurgulamakta ve gelecekteki araştırmalara yol göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarasa Algoritması, Karşılaştırmalı Analiz, Test Fonksiyonları, Optimizasyon Problemleri.

### Abstract

This study compares the performance of nature-inspired optimization algorithms such as Particle Swarm Optimization (PSO) and Bat Algorithm (BA) on various test functions. The analyses evaluate the performance of both algorithms on different test functions. The findings point out the unique strengths and weaknesses of both algorithms for specific test functions. The study highlights the potential of nature-inspired optimization algorithms to provide effective solutions to optimization problems and provides directions for future research.

**Keywords:** Particle Swarm Optimization, Bat Algorithm, Comparative Analysis, Test Functions, Optimization Problems.

**Citation/Atf:** IŞIKLI, İ. & KÖSE, B. (2024). PSO ve BA Algoritmalarının Farklı Test Fonksiyonları Üzerinde Karşılaştırmalı Analizi. *Kuantum Teknolojileri ve Enformatik Araştırmaları*. 2(2): 87-103, DOI: 10.70447/ktve.2459

**Corresponding Author/ Sorumlu Yazar:**  
İbrahim Işıklı  
E-mail: [isikli.ibrahim@outlook.com](mailto:isikli.ibrahim@outlook.com)



Bu çalışma, Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

## 1. GİRİŞ

Optimizasyon, belirli kısıtlamalar olsun veya olmasın, belirlenen amaç veya amaçlar doğrultusunda en uygun çözümü elde etme sürecidir. Bu süreç, bilim insanlarının yeni fikirler ortaya koyması ve bu fikirlerin geliştirilmesi açısından büyük önem taşır. Bir fikrin etkileyen parametrelerinin veya bilgilerinin elektronik formata dönüştürülebildiği sürece, bilgisayarlar mükemmel bir optimizasyon aracı olarak hizmet verebilir. Optimizasyon terminolojisinde her zaman en uygun sonuca ulaşma hedefi vardır. Ancak bu en iyi tanımı, problemin doğasına, kullanılan çözüm metoduna ve izin verilen toleranslara bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Tarih boyunca karşılaşılan problemleri çözmek amacıyla birçok optimizasyon tekniği geliştirilmiş ve bu teknikler farklı alanlara uygulanmıştır [1].

Günümüzde bilimsel çalışmalar ve teknolojik araçlar her an ivmeli artış ile gelişime devam etmektedir. Bu gelişmelerin başında olan optimizasyon (en iyileme), en büyükleme ve en küçükleme süreçlerinin tümel bir adı olup, ekonomiden tasarım mühendisliğine, otomasyondan enerji mühendisliğine hemen her bilim dalını ilgilendirir. Örneğin rüzgar çiftliklerinde, rüzgar türbinlerinin optimum yerleşimini hesaplanması [1]; akıllı bina ortamlarındaki enerji tüketiminin en aza indirgenmesi hedefleri optimizasyon işlemleridir [2].

Mühendislikte optimizasyon problemleri çözüme başvurulmuş klasik yöntemler, gerçek hayat problemlerini çözümünde kifayetsiz kaldığı durumlar ortaya çıkabilmektedir. Çözüm süresinin ve çözüm karmaşıklığının problem boyutuna bağlı olarak çok artması, sezgisel arama yöntemlerinin gelişimi sağlamıştır. Sezgisel arama yöntemleri ise bilgisayar teknolojilerinin gelişimi ile paralel olarak son kırk yıldır gelişmektedir. Tüm canlı türlerinin optimum tasarımı ideal bir şekilde ekosistemde bulunması, davranışlarında ve yiyecek bulma arayışlarında optimum çözümlü bulma girişimleri, bilim insanlarının ilgisini çekmiş ve doğadan ilham alan algoritmaların çoğalmasıyla sonuçlanmıştır.

Optimizasyon problemleri çözümünde klasik yöntemler olarak isimlendirilen analitik yöntemler çok yaygın olarak kullanılmakla birlikte

bu yöntemlerin esnek olmaması ve matematiksel fonksiyonlarla tanımlı olma ihtiyacı gibi dezavantajları, bilim insanlarını daha genel amaçlı ve yüksek performanslı yöntemler geliştirmeye yönlendirmiştir. Son zamanlarda, doğa olaylarından esinlenerek geliştirilen optimizasyon algoritmaları, sezgisel yöntemler olarak adlandırılmaktadır [3].

Bu sezgisel yöntemler arasında J. Holland tarafından 1975'te geliştirilen (GA) [4]; R. Storn tarafından 1997'de geliştirilen Diferansiyel Evrim Algoritması (DEA) [5]; X. Yang tarafından geliştirilen Yarasa Algoritması (BA) [6] ve J. Kennedy tarafından geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmaları [7], optimizasyon problemlerinde popüler olarak kullanılmaktadır.

Sezgisel arama yöntemleri, 1970'lerden beri gelişmekte olan ve birçoğu doğadan esinlenilerek modellenen yöntemlerdir [8]. Bu yöntemlerin bazıları doğal fiziksel yasaları veya süreçleri temel alırken, büyük bir kısmı canlı varlıkların sosyal etkileşimlerini örnek almıştır. Örneğin, Genetik Algoritmalar (GA), canlılardaki genetik kalıtım süreçlerini örnek alarak geliştirilen popülasyon tabanlı bir evrim algoritmasıdır ve her bir jenerasyonda en iyi sonuca ulaşmayı hedefler. GA, doğal seçim ve kalıtım prensiplerine dayanarak, popülasyon içerisindeki en iyi çözümleri seçer ve bu çözümleri çaprazlama ve mutasyon gibi genetik işlemlerle birleştirerek daha iyi çözümler üretmeye çalışır [9].

(DEA) ise, genetik çaprazlama metodu ve bireysel farklılıklardan esinlenerek geliştirilmiştir. Bu genetik çaprazlama işlemi, popülasyonun farklı bireyleri arasındaki varyasyonu kullanarak, global optimuma yakın sonuçlar elde etmeyi amaçlar [10]. DEA'nın temel avantajı, arama alanında geniş bir keşif yapabilme yeteneğidir, bu da onu karmaşık ve çok boyutlu problemlerde oldukça etkili kılar. (DEA), çözümleri birbirine yaklaştırarak lokal minimumlara takılmadan global en iyi çözüme ulaşmayı hedefler. Ancak, bu hedef sadece DEA'ya özgü olmayıp, diğer sezgisel algoritmalar da benzer şekilde global en iyi çözüme ulaşmayı amaçlar [10].

Diğer bir sezgisel yöntemlerden biri de toplulukta bireylerin birbiri ile etkileşimini baz alan (PSO) algoritmasıdır. PSO, sosyal davranışları

ve grup dinamiklerini taklit eder; sürüdeki her bir birey (parçacık), kendi ve komşularının deneyimlerinden öğrenerek, en iyi çözüme doğru hareket eder [11].

(BA) ise, yarasaların eko-lokasyon davranışlarını taklit eden bir diğeri sezgisel optimizasyon yöntemidir. Yarasa Algoritması, yarasaların avlarını bulmak için kullandıkları yankı (eko) sinyallerini model alır ve bu sinyalleri kullanarak arama alanında çözümleri keşfeder [12]. Bu algoritma, frekans ve yankı gücünü ayarlayarak, yerel ve global arama yeteneklerini dengeler, bu da onu çeşitli optimizasyon problemlerinde etkili kılar [13].

Sezgisel araştırma yöntemleri, doğadaki canlıların ve fiziksel süreçlerin davranışlarını taklit ederek geliştirilmiş ve bu yöntemler, klasik matematiksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda güçlü alternatifler sunmuştur. (DEA), (GA), (BA) ve (PSO) gibi yöntemler, geniş bir uygulama yelpazesinde başarılı sonuçlar elde etmiş ve optimizasyon problemlerinin çözümünde önemli bir rol oynamıştır. Bu yöntemlerin her biri, belirli bir problemi çözmek için uygun olan kendine özgü avantajlara sahiptir ve doğru seçtiklerinde, karmaşık problemlerin çözümünde büyük bir fark yaratabilirler.

Sezgisel optimizasyon tekniklerinin performansını ölçmek için kullanılan en önemli kriterlerden biri yakınsama hızıdır [14]. Bu çalışmada, test fonksiyonları kullanılarak (PSO) algoritması ile (BA) karşılaştırılmıştır. Makalenin organizasyonu şu şekildedir: Bölüm 2 ve alt başlıklarında PSO ve BA algoritmaları ile ilgili genel bilgiler verilmektedir. Bölüm 3'te ise test fonksiyonları ele alınmakta ve benzetim sonuçları sunulmaktadır. Son olarak, Bölüm 4'te genel sonuçlar ve değerlendirmeler yapılmaktadır.

Çalışma (PSO) ve Yarasa Algoritması (BA) algoritmalarının performansını karşılaştırmıştır. Analizler, PSO'nun Beale, Ackley, Levi ve Goldstein Price test fonksiyonlarında genellikle daha iyi sonuçlar verdiğini, ancak Cross in Tray ve Bukin fonksiyonlarında BA'nın üstün performans sergilediğini göstermiştir. Bu bulgular, her iki algoritmanın da farklı problem türlerinde avantajlar sunduğunu ve algoritma seçiminde problem yapısının dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

Araştırmacılar, doğanın akıllı sistemlerin geliştirilmesi için büyük bir ilham kaynağı olduğunu ve çeşitli karmaşık problemlere yenilikçi çözümler sunduğunu fark etmişlerdir. Bu gözlem, doğadan esinlenerek geliştirilen birçok algoritmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu algoritmaların temelinde, doğadaki süreçlerin ve organizmaların karşılaştıkları zorlukları çözmeye biçimlerinin taklit edilmesi yatmaktadır. Bu yaklaşım, doğanın sunduğu muazzam bilgi birikimini ve adaptasyon yeteneklerini kullanarak, teknik ve mühendislik problemlerine etkili çözümler üretmeyi amaçlar. Bu çalışmada doğa esinli algoritmalar arasında özellikle dikkat çeken temel bir algoritma olan (PSO) ile (BA) analiz edilmiştir.

### 2.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu

(PSO), Elektrik mühendisi olan Russel Eberhart ve psikolog olan James Kennedy tarafından geliştirilmiş bir optimizasyon algoritmasıdır [15]. PSO, toplu zekâ kavramına dayanarak, sosyal etkileşimlerin ve sürü davranışlarının matematiksel bir modelini oluşturur. Algoritmanın temel fikri, biyolojik toplumlardaki toplu zekâ olgusunun araştırılması sırasında, kuş sürülerinin ve balık gruplarının hareketlerinin modellenmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu bağlamda PSO, yapay yaşam ve evrimsel programlama gibi iki ana disiplinin bir sentezidir [16].

Yapay yaşam teorisi, sürülerin, kuşların ve balıkların kolektif hareketlerini incelerken, evrimsel programlama ise doğal seleksiyon ve genetik algoritmalar gibi biyolojik evrim süreçlerini taklit eden bir optimizasyon tekniğidir. PSO, bu iki yaklaşımı birleştirerek, toplulukların bilgi paylaşımı ve bireysel deneyimlerinden yararlanarak optimizasyon problemlerini çözmeyi hedefler [15].

PSO'nun en dikkat çekici özelliklerinden biri, topluluk temelli bir yapı üzerine kurulmuş olması ve bu topluluğun dinamik etkileşimleriyle işleyen bir mekanizmaya sahip olmasıdır. Diğeri evrimsel hesaplama yöntemlerinden farklı olarak, PSO sadece basit matematiksel operatörler kullanarak çalışır ve bu sayede daha az hesaplama gerektiren, daha verimli bir algoritma sunar. Kennedy ve Eberhart, (PSO) çeşitli global opti-



mizasyon problemlerinde aktif bir çözüm yöntemi olduğunu ve geri kalan evrimsel algoritmaların yüzleştiği bazı güçlüklerin, özellikle yerel minimumlara takılma ve yüksek hesaplama maliyetleri gibi, üstesinden kolaylıkla gelebildiğini göstermişlerdir [15].

PSO, rastgele evrimsel hesaplama yöntemleri arasında yer alır ve bu yöntem, sürülerin zekâsına ve hareketlerine dayalı bir benzetme ile açıklanabilir. Örneğin, bir tarladaki arı topluluğunu ele alalım. Bu arıların hedefi, tarladaki en yoğun çiçek bölgesini bulmaktır. Arıların daha önce tarla ile ilgili bir bilgiye sahip olmadığını kabul ettiğimizde; arılar, rastgele bölgelerde rassal hızlarla uçarak çiçek aramaya başlar. Her bir arı, en çok çiçeği bulduğu bölgeyi belleğinde tutar. Ayrıyeten, diğer arıların bulduğu çiçek miktarının en çok olan bölgeyi de bir şekilde bilmektedir [16].

Arıların hareketleri, kendi deneyimleri ile topluluk bilgisinin bir kombinasyonuna dayanır. Kendi bulduğu çiçek yoğunluğu en fazla olan bölge ile sürünün genel olarak belirlediği en yoğun bölge arasında bir denge kurmaya çalışır. Yoluculuğu sırasında, daha önce bulduğundan daha fazla çiçeğe sahip bir bölge keşfederse, bu yeni bilgiye göre hareket etmeye başlar. Eğer bir arı, sürüdeki diğer arıların bulduğundan daha yoğun bir çiçek bölgesi bulursa, tüm sürü bu yeni bölgeye yönelir. Bu süreç, arıların tüm tarlayı taramasını, en yoğun çiçek bölgelerini bulmasını ve sonunda o bölgelerde toplanmasını sağlar [17].

Bu benzetme, PSO'nun nasıl çalıştığını anlamak için kullanışlıdır: Her bir "parçacık" (arı), arama uzayında potansiyel çözümler arar ve kendi deneyimlerinden ve diğer parçacıkların deneyimlerinden yararlanarak en iyi çözüme ulaşmaya çalışır. Parçacıklar, kendi en iyi bilinen konumları ile sürünün en iyi bilinen konumu arasında bir denge kurarak hareket ederler. Bu süreç, PSO'nun global optimizasyon problemlerini etkili bir şekilde çözmesini sağlar ve algoritmanın adaptif doğası, çeşitli zorluklara karşı esneklik sunar.

Parçacık Sürü Optimizasyonu, toplu zekâ ve sosyal etkileşimlere dayalı yenilikçi bir optimizasyon algoritması olarak, biyolojik sistemlerin

davranışlarını modelleyerek geniş bir uygulama yelpazesinde başarılı sonuçlar elde etmektedir. PSO'nun basitliği ve etkinliği, onu evrimsel hesaplama yöntemleri arasında öne çıkaran önemli bir faktördür.

### 2.1.1. PSO Algoritmasının Temel Birimleri

Bu başlıkta, (PSO) algoritmasının temel kavramları ve terminolojisi detaylı bir şekilde tanıtılacaktır. Bu terimler, PSO'nun diğer evrimsel hesaplama yöntemlerinden nasıl farklılaştığını anlamamıza yardımcı olacaktır.

Parçacık: PSO algoritmasında, bireyler "parçacık" şeklinde isimlendirilir. Her bir parçacık, arama uzayında potansiyel bir çözüm olarak değerlendirilir ve belirli bir stratejiye göre hareket eder. Parçacıklar, her an kendi konumlarını günceller ve bu güncelleme sırasında iki temel prensibe dayanırlar: kendi kişisel en iyi konumlarına (pbest) ve sürünün genel en iyi konumuna (gbest) doğru yönelirler. Bu şekilde, parçacıklar hem bireysel deneyimlerinden hem de topluluk bilgeliğinden faydalanarak en iyi çözüme ulaşmaya çalışırlar.

Konum: PSO'da "konum", optimizasyon problemi için bir çözüm kümesini temsil eder. Arama uzayı, problemin boyutuna bağlı olarak n-boyutlu bir uzay olarak tanımlanır. Her bir konum, bu uzayda bir koordinat olarak değerlendirilir. Örneğin, üç boyutlu bir optimizasyon probleminde, çözüm uzayı x-y-z koordinat düzleminde tanımlanır ve herhangi bir (x, y, z) konumu potansiyel bir çözüm olarak kabul edilir. PSO'nun amacı, bu çözüm uzayında en uygun sonucu sağlayan konumu bulmaktır.

Sürü: Bütün parçacıkların oluşturduğu topluluğa "sürü" denir. Sürü, PSO'nun temel yapı taşlarından biridir ve parçacıkların toplu hareketi ile optimize edilir. Her bir parçacık, sürünün genel en iyi konumuna ulaşmak için diğer parçacıklarla etkileşimde bulunur ve bu sayede sürü, kolektif bir şekilde en uygun çözümü bulmaya çalışır.

Hız: PSO'da hız, bir parçacığın en iyi konuma ulaşmak için kullandığı yön vektörüdür. Bu hız vektörü, parçacığın kendi kişisel en iyi konumu ile sürünün genel en iyi konumu arasında bir denge kurarak güncellenir ve parçacığın bir sonraki konumuna nasıl hareket edeceğini belirler.



**Uygunluk:** Evrimsel hesaplama tekniklerinde olduğu gibi, PSO'da da "uygunluk fonksiyonu" olası konumların uygunluğunu değerlendirmek için kullanılır. Uygunluk fonksiyonu, belirli bir konumun performansını değerlendirir ve o konumdan tek bir sayı değeri üretir. Uygunluk fonksiyonu, optimizasyon probleminin doğasına bağlı olarak farklılık gösterebilir ve nihai olarak hedeflenen uygunluk değerine ulaşmayı amaçlar.

**Kişisel En İyi ( $p_{best}$ ):** Her bir parçacığın vardığı konumlar arasında en iyi uygunluk değerine sahip olan konum "kişisel en iyi" ( $p_{best}$ ) olarak adlandırılır. Parçacık, daha sonraki hızını ve konumunu belirlerken bu kişisel en iyi konumunu referans alır. Parçacık, mevcut konumunu sürekli olarak kendi kişisel en iyi konumuyla karşılaştırır ve daha iyi bir uygunluk değeri elde ederse, bu yeni konumu kişisel en iyi konumu olarak günceller.

**Küresel En İyi ( $g_{best}$ ):** "Küresel en iyi" ( $g_{best}$ ), sürünün ulaştığı en iyi konumu temsil eder. Sürüdeki tüm parçacıklar, bu küresel en iyi konumu bilir ve kendi hareketlerini bu bilgiye göre düzenlerler. Parçacıklar, mevcut konumunu sürünün küresel en iyi konumuyla karşılaştırır ve daha iyi bir uygunluk değeri elde ederse, bu yeni konumu sürünün küresel en iyi konumu olarak günceller.

**İterasyon:** PSO algoritmasında, sürüdeki parçacıkların zaman adımlarını temsil eden bir terimdir. İterasyon, parçacıkların konumlarını ve hızlarını güncelledikleri her bir zaman dilimini ifade eder. Optimizasyon süreci, belirli bir iterasyon sayısı boyunca veya belirlenen bir kriteri sağlayıncaya kadar devam eder. Her iterasyon, parçacıkların arama uzayında daha iyi çözümler bulmasına olanak tanır.

### 2.1.2. PSO Algoritmasının İşleyişi

(PSO) algoritması, hayvanların sosyal etkileşimlerinden ilham alan bir optimizasyon yöntemidir. Bu algoritma, "parçacık" olarak adlandırılan bireyler arasındaki etkileşimleri kullanarak, arama uzayında en uygun çözüme uyum sağlayarak ilerlemelerini sağlar.

Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), başlangıçta rastgele oluşturulan bir çözüm kümesi ile

başlar ve bu çözümler güncellenerek en uygun sonuca ulaşılmaya çalışılır. Her iterasyonda, parçacıkların konumları en iyi performans gösteren iki parçacığa göre ayarlanır. İlk olarak, bugüne kadar kullanılan aynı numaralı parçacıklar arasında en üst düzeyde uygunluk sergileyen parçacık seçilir ve bu parça yerel en iyi ( $p_{ye}$ ) olarak isimlendirilir; bu veri bellekte saklanmaz. Öteki ise parçacıkların tümü arasında elde edilen en üst düzeyde uygunluk değerine sahip olan global en iyi parçacığıdır. Global en iyi, " $g_{best}$ " olarak tanımlanır. Örneğin, D boyutlu ve N tane parçacık bulunduğunu varsayalım. Bu varsayımda, popülasyon parçacık matrisi, Denklem 1'de belirtilen yapıya sahiptir [18].

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \dots & \dots & p_{1D} \\ p_{21} & p_{22} & \dots & \dots & p_{2D} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ p_{N1} & p_{N2} & \dots & \dots & p_{ND} \end{bmatrix}_{N \times D} \quad (1)$$

Denklem 1'deki matriste bulunan  $i'$  inci parçacık  $p_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}]$  ifadesiyle belirtilir. Önceki iterasyonlarda, en üst düzeyde uygunluk değerine ulaşan  $i'$  inci parçacığın konumu  $p_{yei} = [p_{yei1}, p_{yei2}, \dots, p_{yeiD}]$  olup, bu parçacık yerel en iyisi olarak anılır [17].

Global en iyi parçacık ( $g_{best}$ ), her iterasyonda tüm parçacıklar için tek bir değerdir ve  $g_{best} = [p_{gb1}, p_{gb2}, \dots, p_{gbD}]$  şeklinde ifade edilir.  $i'$  inci parçacığın hızı, her boyuttaki konum değişim miktarı olarak  $v_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}]$  şeklinde tanımlanır. İki en iyi değer belirlenmesinin ardından, parçacık hızları ve konumları, aşağıdaki 2 ve 3 numaralı denklemlere [19] göre güncellenir.

$$v_i^{k+1} = v_i^k + c_1 \times x \times r_1^k (p_{ye}^k - p_i^k) + c_2 \times r_2^k \times (g_{best}^k - p_i^k) \quad (2)$$

$$p_i^{k+1} = p_i^k + v_i^{k+1} \quad (3)$$

Denklem 2'deki  $c_1$  ve  $c_2$ , öğrenme faktörlerini ifade ederken  $k$  iterasyon sayısını ifade eder. Bu sabitler, her parçacığı kendi yerel en iyisine ( $p_{ye}$ ) ve sürünün en iyisine ( $g_{best}$ ) doğru çeken hızlanma terimlerini temsil eder.  $c_1$  ve  $c_2$  sırasıyla lokal ve global öğrenme katsayılarıdır.  $c_1$ 'in yüksek değerlerde seçilmesi,  $p_{best}$  (lokal en iyi çözüm) çözümünden daha fazla öğrenme sağlamakta ve bu durum çözüm vektörünün lokal en iyi çözüm etrafında yakınsamasını teşvik etmektedir.  $c_2$

'nin yüksek değerlerde seçilmesi ise, gbest (global en iyi çözüm) çözümünden daha fazla öğrenme sağlayarak elde edilen çözüm vektörünün global en iyi çözüm pozisyonuna doğru yakınsamasını desteklemektedir.

Denklem içindeki  $r_1$  ve  $r_2$ , (0,1) arasında uniform olarak dağıtılmış rastgele sayılardır. İterasyon sayısını temsil eden k ise belirlenir. PSO algoritmasının genel kod yapısı Şekil.1'de özetlenmiştir [19].

## 2.2. Yarasa Algoritması

Doğa esinli algoritmalar arasında özellikle dikkat çekenlerden biri de (BA). Bu algoritma, yarasaların ekolokasyon yeteneklerinden ilham alarak geliştirilmiş olup, optimizasyon problemlerinde üstün performans göstermektedir. Yarasaların avlarını bulmak ve engellerden kaçınmak için kullandıkları bu ileri düzey biyolojik mekanizma, algoritmanın temelini oluşturur ve bu sayede Yarasa Algoritması, hem doğanın işleyişini anlamamıza katkıda bulunur hem de mühendislik alanında pratik uygulamalara olanak tanır [20].

Yarasalar, ekolokasyon yetenekleri sayesinde yönlerini bulma konusunda uzmanlaşmış, doğanın en etkileyici canlılarından biridir. Dünya genelinde yaklaşık bine yakın türü bulunduğu tahmin edilen yarasalar, büyüklük ve ağırlık bakımından geniş bir yelpazeye sahiptir. En küçük türlerinden biri olan yaban arısı yarasası sadece

1.5-2 gram ağırlığındadır. Buna karşılık, kanat açıklığı yaklaşık 2 metreye ulaşan ve ağırlığı yaklaşık 1 kilogram olan dev yarasalar da bulunmaktadır [20].

Yarasalar genel olarak mikro yarasalar ve mega yarasalar olarak iki gruba ayrılır. Mikro yarasalar, ekolokasyon becerilerini yoğun bir şekilde kullanarak çevrelerini algılar ve avlarını bulurlar. Mega yarasalar ise genellikle bu yeteneği kullanmazlar ve daha çok görme duyularına güvenirlir. Ekolokasyon, yarasaların yüksek frekanslı ses dalgaları yayarak çevrelerindeki nesnelerin yerini tespit etmelerine olanak tanıyan bir tür biyolojik sonar sistemidir [21].

Mikro yarasalar, yüksek frekansta ve kısa sürede ses dalgaları gönderirler; bu dalgalar bir nesneye çarptığında geri dönen yankıyı algırlar. Bu sayede, nesnenin uzaklığını ve konumunu hassas bir şekilde belirleyebilirler. Yayılan ses dalgalarının süresi yaklaşık 5-20 milisaniye arasında değişir ve genellikle 25-150 kHz frekans aralığında sabitlenir. Mikro yarasalar normalde saniyede yaklaşık 10-20 ses sinyali gönderirler, ancak avlarına yaklaştıklarında bu oran saniyede yaklaşık 200 sinyale kadar artar [21].

Ayrıca, mikro yarasalar av arama sürecinde yüksek sesli sinyaller (yaklaşık 110 desibel) üretirler; avlarına yaklaştıklarında ise bu sinyallerin şiddetini azaltarak daha sessiz hale gelirler. Mikro yarasaların bu ekolokasyon yeteneği, optimize

Şekil 1. Parçacık sürü optimizasyonunun sözde kodu

Başlangıç:	<input type="checkbox"/> Popülasyon boyutu, hareket sayısı, boyut, ekin hızı, kişisel ve sosyal hızlanma, doğruluk, minimum hareketler.
Fonksiyon Seçimi:	<input type="checkbox"/> Amaç fonksiyonunu seç ve x, y aralıklarını belirle.
Sürü Popülasyonunu Başlat:	<input type="checkbox"/> Rastgele pozisyonlar oluştur ve fitness hesapla.
En İyi Fitness Değerini Belirle:	<input type="checkbox"/> En iyi fitness değerini ve indeksini belirle.
Dinamikleri Başlat:	<input type="checkbox"/> Hız matrisini sıfırla.
Simülasyon:	<input type="checkbox"/> Hareket sayısı kadar döngü yap: <input type="checkbox"/> Hızı güncelle (inertia, kişisel ve sosyal bileşenlerle). Pozisyonu güncelle. <input type="checkbox"/> Fitness değerini hesapla. <input type="checkbox"/> En iyi pozisyon ve fitness değerini güncelle.

edilecek bir amaç fonksiyonuyla ilişkilendirilebilir ve bu doğal davranışı taklit eden bir optimizasyon algoritması geliştirilebilir. Bu şekilde, mikro yarasaların ekolokasyon yeteneğinden ilham alınarak matematiksel ve mühendislik problemlerine çözüm üretmek mümkündür. Chawla ve Duhan (2015) bu doğal yeteneğini kullanarak bir optimizasyon algoritması formüle etmişlerdir. Bu algoritma, doğanın sunduğ u bu mükemmel mekanizmayı kullanarak optimum çözümler bulmayı hedefler [26].

### 2.2.1. Yarasa Algoritmasının Temel Birimleri

Bu amaç doğrultusunda harekete geçen Yang, yarasaların ekolokasyon yeteneklerini ve av bulma konusundaki karakteristik davranışlarını modelleyerek, 2010 yılında Yarasa Algoritmasını geliştirmiştir [22]. Yarasa algoritması, yarasaların yüksek frekanslı ses dalgalarını yayarak nesnelere yerini belirleme ve avlarını bulma yeteneklerini matematiksel bir model haline getirmiştir [22]. Bu model, optimizasyon problemlerinin çözümünde kullanılmak üzere doğanın bu etkileyici mekanizmasını taklit eder. Yarasa Algoritması, özellikle karmaşık ve çok boyutlu problemlerde etkin çözümler sunarak, doğa esinli algoritmalar arasında önemli bir yer edinmiştir. Yang'ın çalışması, biyolojik süreçlerin bilgisayar bilimlerine uygulanması konusunda önemli bir adım olarak kabul edilir ve çeşitli mühendislik uygulamalarında başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

#### (BA) Temel Birimleri

Yarasa Algoritması'nın yapısını iyileştirmek ve yarasaların ekolokasyon yeteneklerini analiz etmek amacıyla belirli ilkeler uygulanmaktadır:

**Sinyal Yayımı ve Yankı Algılama:** Yarasalar, yüksek frekanslı ses dalgaları yayarak çevrelerinde yankı oluşturur. Bu yankılar, avın yerini tespit etmek için yarasaların kulaklarına geri döner. (BA) bu ilke, çözüm arama sürecinde farklı noktaların değerlendirilmesi için kullanılır [23].

**Frekans ve Genlik Değişimi:** Yarasalar, avlarına yaklaştıka yayılan sinyallerin frekansını ve genliğini değiştirebilir. Algoritmada bu değişim, çözüm arayışında daha hassas aramalar yapmak için farklı parametrelerin ayarlanması şeklinde uygulanır [23].

**Sinyal Gücü ve Mesafe İlişkisi:** Yarasalar, yayı-

lan sinyalin gücünü kullanarak mesafeyi tahmin ederler. Bu prensip, algoritmada çözüme olan uzaklığın değerlendirilmesi ve uygun adımların atılması için kullanılır [23].

**Dinamik Arama Alanı:** Yarasalar, avlarını bulmak için dinamik bir arama alanı kullanır. Algoritmada bu ilke, arama alanının adaptif bir şekilde güncellenmesi ve optimize edilmesi için uygulanır [23].

**Sinyal Yayım Hızı:** Yarasalar, avlarına yaklaştıklarında sinyal yayım hızını artırır. Bu davranış, algoritmada çözümün doğruluğunu artırmak ve sonuca daha hızlı ulaşmak için kullanılır [23].

Bu ilkeler, Yarasa Algoritması'nın doğadaki yarasaların ekolokasyon yeteneklerini taklit ederek daha etkili ve verimli optimizasyon çözümleri sunmasını sağlar. Yarasaların bu biyolojik yeteneklerinin modellenmesi, karmaşık mühendislik problemlerinin çözümünde yararlı bir araç olarak kullanılmaktadır.

### 2.2.2. (BA) İşleyişi

Yarasalar, avlarını bulmak için belirli bir hızla  $v_i$  başlangıç pozisyonlarında  $x_i$  ve minimum frekansta  $f_{min}$  uçarken, değişken bir dalga boyu ( $r$ ) ve başlangıç ses şiddeti  $L_0$  ile rastgele hareket ederler. Hedeflerine olan mesafeye bağlı olarak yayılan dalgalarının frekanslarını ayarlama yeteneğine sahiptirler ve sinyal yayılım oranlarını 0 ile 1 arasında değiştirirler. Her yarasanın kendine özgü frekansı, ses şiddeti ve sinyal yayılım oranı olabilir. Bu ses şiddeti,  $L_m^{iter}$ ,  $L_0$  gibi daha yüksek bir değerden  $L_{min}$  gibi en düşük yerleşik değere ulaşana kadar farklı değerlerde olabilir. Optimizasyon sürecinde, her yarasanın pozisyonu  $x_i$  ve hızı  $v_i$  belirlenebilir ve güncellenebilir. Zaman içerisinde, belirli bir  $t$  zaman aralığında, yarasanın yeni pozisyon  $x_i^t$  ve hız  $v_i^t$  değerleri aşağıdaki denklemlerle hesaplanır [24].

$$f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})a \quad (4)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^p)f_i \quad (5)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (6)$$

Yarasaların avlanma stratejileri, karmaşık bir dizi parametrenin sürekli olarak ayarlanmasını içerir. Avlarını tespit etmek için ses dalgalarının frekanslarını hedefle olan uzaklığa göre dinamik olarak değiştirirler. Bu frekans değişiklikleri, ya-

rasanın etrafındaki ortamın akustik özelliklerine uyum sağlarnasını ve böylece avını daha etkili bir şekilde bulmasını sağlar. Her bir yarasası, belirli bir ses şiddeti ile başlar ve bu şiddet zamanla, optimizasyon algoritması ilerledikçe farklı seviyelere değişir. Ses şiddeti, sinyalin yayılma oranı ve frekans parametreleri, her yarasasının benzersiz algılama ve avlanma stratejisini oluşturur.

Bu parametrelerin güncellenmesi, belirli denklemler aracılığıyla gerçekleştirilir. Her t zaman diliminde, yarasanın pozisyonu ve hızı, daha önceki değerlerine ve belirli optimizasyon kurallarına göre yeniden hesaplanır. Bu dinamik güncellemeler, yarasanın hedefe doğru ve hızlı bir şekilde yakınsaması içindir. Özetle, yarasaların avlanma süreci, frekans, ses şiddeti ve sinyal yayılım oranlarının sürekli ve karmaşık bir etkileşimi ile tanımlanır ve optimize edilir.

Denklem 4'teki  $a$ , 0 ile 1 arasında rastgele seçilen bir vektörü temsil ederken,  $f_i$  her bir yarasanın frekans değerini ifade eder. Bu frekans değerleri,  $f_{min}$  ve  $f_{max}$  ile belirlenmiş olan en küçük ve en büyük frekans sınırları arasında yer alır.  $x^*$ , sürü içindeki en iyi çözüm değerini gösterir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen bu en iyi çözüm değeri, sistemin genel performansını optimize etmek için kullanılır [24].

Bu süreçte, en iyi çözüm değeri belirlendikten sonra, rastgele gerçekleştirilen yerel arama işlemleriyle daha iyi bir çözüm bulunmaya çalışılır. Bu işlemler, çözüm alanında küçük değişiklikler yaparak mevcut en iyi değer etrafında yeni ve potansiyel olarak daha iyi bir çözüm arayışını kapsar. Böylece, algoritmanın yerel maksimum veya minimumda takılmadan, global optimuma daha yakın bir çözüm bulma olasılığı artırılmış olur [24] [25].

Denklem 4, algoritmanın hem küresel hem de yerel arama yeteneklerini dengeler. Rastgele vektör  $a$ , algoritmanın keşif yeteneğini artırırken,  $f_i$  frekans değerlerinin dinamik ayarı, yarasaların çevresel değişimlere uyum sağlama yeteneğini yansıtır. Sonuç olarak, bu parametrelerin uyumlu bir şekilde ayarlanması, optimize edilmiş ve etkin bir çözüm bulma sürecini destekler. Yerel rastgele işlemler ile elde edilen yeni çözüm değerleri, algoritmanın adaptasyon kabiliyetini ve arama alanındaki hassasiyetini geliştirir. Bu yön-

tem, optimize edilen çözüm değerlerinin doğruluğunu ve etkinliğini artırmada önemli bir rol oynar [26] [27].

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon L^t \quad (7)$$

Eşitlik 7'de  $\varepsilon$ , -1 ile 1 arasında rastgele dağılım gösteren bir değeri temsil ederken,  $L^t$  ise t zamanı boyunca bütün yarasaların ortalama ses şiddetini belirtmektedir. Bu değer, zamanla yarasaların ortalama ses seviyelerinin nasıl değiştiğini gösterir. İterasyon süreci ilerledikçe ve algoritma istenen hedefe yakınsadıkça, yarasaların ekolokasyon aracılığı ile oluşturdukları sesin, sinyal yayılım oranı ve şiddetinin düzenli olarak güncellenmesi gereklidir.

Yarasanın hedefi tespit etme sürecinde, başlangıçta yüksek olan ses şiddeti, avın konumunu daha hassas bir şekilde belirledikçe genellikle azalır. Bu süreçte, yarasalar ekolokasyon sinyallerini kullanarak çevresel geri bildirim alır ve bu geri bildirimlere göre ses şiddetini ve sinyal yayılım oranını ayarlarlar. Ses şiddeti (L) düştüğünde, bu genellikle yarasanın avına daha yakın olduğunu ve daha hassas ayarlamalara ihtiyaç duyduğunu gösterir. Aynı zamanda, sinyal yayılım oranı (r) artar, bu da yarasanın daha sık sinyal göndererek çevresel bilgileri daha ayrıntılı bir şekilde toplamasını sağlar [24] [25].

Bu düzenleme mekanizması, yarasanın hedefe doğru daha kesin bir yol izlemesine yardımcı olur. Başlangıçta yüksek ses şiddeti ile geniş bir alan taranırken, hedefe yaklaşıldıkça daha düşük ses şiddeti ve daha yüksek sinyal yayılım oranı ile daha detaylı bir arama gerçekleştirilir. İterasyon ilerledikçe bu parametrelerin dinamik olarak ayarlanması, algoritmanın performansını optimize eder ve avın tespit edilme olasılığını artırır.

Dolayısıyla, eşitlik 7'de belirtilen  $\varepsilon$  ve  $L^t$  değerleri, yarasaların ekolokasyon mekanizmasını ve bunun optimizasyon sürecindeki rolünü anlamak için kritik öneme sahiptir. Ses şiddeti ve sinyal yayılım oranındaki bu değişiklikler, yarasaların çevresel uyum yeteneklerini ve arama etkinliklerini artırarak, hedefin daha hızlı ve doğru bir şekilde bulunmasını sağlar [24].

$$A_i^{t+1} = \beta A_i^t, \quad r_i^{t+1} = r_i^0 [1 - \exp(-\gamma t)] \quad (8)$$

Denklem 8'de  $\beta$ , 0 ile 1 arasında bir yerleşik de-



ğeri ve  $\gamma$  ise pozitif bir yerleşik değeri temsil etmektedir. Bu iki parametre, algoritmanın dinamik özelliklerini ve optimizasyon sürecindeki davranışlarını tanımlamak için kullanılır. Zaman  $t$  sonsuza yaklaştıkça, yarasaların çıkardıkları sesin şiddeti  $L_i^t$  sıfıra yaklaşır ve sinyal yayılım oranı  $r_i^t$  ise başlangıçtaki belirli bir sabit değere  $r_i^0$  yaklaşır [27] [28].

Bu bağlamda,  $\beta$  ve  $\gamma$ , yarasaların ses şiddeti ve sinyal yayılım oranının zamanla nasıl değişeceğini belirleyen önemli parametrelerdir. İterasyonlar ilerledikçe, yarasalar çevresel geri bildirimlere dayalı olarak ses şiddetini azaltır. Bu azalma, yarasanın avına yaklaştığını ve daha hassas bir arama gerçekleştirdiğini gösterir. Aynı zamanda, sinyal yayılım oranı başlangıçtaki sabit değere  $r_i^0$  yaklaşır, bu da yarasaların daha sık ve düzenli sinyal göndererek çevresel bilgileri daha doğru bir şekilde toplamasını sağlar[29][30].

Yani,  $t$  sonsuza yaklaştıkça  $L_i^t$ 'nin sıfıra yaklaşması, yarasaların avlarını başarılı bir şekilde tespit etmeye yaklaştıklarını ve bu nedenle daha az

ses çıkararak daha az enerji harcadıklarını gösterir.  $r_i^t$ 'nin  $r_i^0$ 'a yaklaşması ise sinyal yayılımının optimize edilerek çevresel algılama sürecinin en verimli hale getirildiğini ifade eder.

Özetle, Denklem 8'de tanımlanan  $\beta$  ve  $\gamma$  ve parametreleri, yarasaların ses şiddeti ve sinyal yayılım oranının zamanla nasıl optimize edildiğini gösterir. Bu parametreler, algoritmanın verimli çalışmasını ve yarasaların çevresel algılama yeteneklerini en üst düzeye çıkarmasını sağlar. Zamanla, bu optimizasyon süreci yarasaların enerji verimliliğini artırır ve avlarını daha etkili bir şekilde tespit etmelerine yardımcı olur. Yarsa algoritmasının akışı Şekil.3'te özetlenmiştir [19].

Her iki algoritmada kullanılan başlangıç parametreleri ve sabitleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

Şekil 2. (BA) kodu

<p><b>Başlangıç:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Popülasyon boyutu, hareket sayısı, boyut, frekans aralığı, gürültü, puls oranı, gamma, doğruluk.</li> </ul> <p><b>Fonksiyon Seçimi:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Amaç fonksiyonunu seç ve x, y aralıklarını belirle.</li> </ul> <p><b>Bat Popülasyonunu Başlat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Rastgele pozisyonlar oluştur ve fitness hesapla.</li> </ul> <p><b>En İyi Fitness Değerini Belirle:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- En iyi fitness değerini ve indeksini belirle.</li> </ul> <p><b>Dinamikleri Başlat:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gürültü, puls oranı, frekans ve hız matrislerini başlat.</li> </ul> <p><b>Simülasyon:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hareket sayısı kadar döngü yap: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Frekansı ve hızı güncelle.</li> <li>o Pozisyonu güncelle.</li> <li>o Rastgele yürüyüş gerçekleştir.</li> <li>o Fitness değerini hesapla.</li> <li>o En iyi pozisyon ve fitness değerini güncelle.</li> <li>o Hedef doğruluk sağlanmışsa döngüyü sonlandır.</li> </ul> </li> </ul> <p><b>Sonuçları Yazdır:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Simülasyon süresi ve en iyi çözümü yazdır.</li> </ul>
---



### 3. TEST FONKSİYONLARI VE PERFORMANS ANALİZİ

Parçacık sürü optimizasyonu ve Yarasa algoritmasının performanslarının değerlendirilmesi için altı farklı test fonksiyonu seçilmiştir. Bu fonksiyonlar, farklı özelliklere ve karmaşıklıklara sahiptir ve algoritmaların genel uygulanabilirlik ve etkinlik seviyelerini test etmek için ideal bir zemin sunar. Şekil 3' te görülen Beale, Ackey, CrossTray, Levi, Bukin ve GoldsteinPrice gibi bu fonksiyonlar, genellikle optimizasyon algoritmalarının performansını değerlendirmek için standart olarak kabul edilir. Bu çalışmada kullanılan test fonksiyonlarının arama uzayı alt ve üst sınırları, küresel minimum ve formülleri Şekil 3'te gösterilmiştir.

PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) ve BA (Yarasa Algoritması) gibi farklı teknikler, bu test fonksiyonları üzerinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Her bir test fonksiyonu, belirli bir optimizasyon problemine odaklanır ve algoritmaların bu problemleri ne kadar etkili bir şekilde çözebildiğini ölçmek için kullanılır. Bu karşılaştırmalar, her algoritmanın güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeye ve hangi tür problemlerde daha iyi performans gösterdiklerini anlamaya yardımcı olur. Bu bağlamda, test fonksiyonları, araştırmacıların algoritmalar arasında kapsamlı bir performans karşılaştırması yapmasını sağlar ve optimizasyon tekniklerinin genel etkinliğini değerlendirmede önemli bir araç olarak kullanılır.

Beale, Ackey, CrossTray, Levi, Bukin ve GoldsteinPrice gibi test fonksiyonları, MATLAB ortamında uygulanabilirliklerini değerlendirmek amacıyla PSO ve BA algoritmalarıyla ayrı ayrı

test edilmiştir. Bu test fonksiyonları, çeşitli matematiksel özelliklere sahip olup, optimizasyon algoritmalarının performansını farklı zorluk seviyelerinde ölçmek için kullanılmıştır. Her bir test fonksiyonu, farklı bir optimizasyon problemi sunar ve algoritmaların bu problemleri ne kadar etkili bir şekilde çözebildiğini belirlemek için kullanılır.

MATLAB üzerinde yapılan bu uygulamalar, her bir test fonksiyonunun özelliklerini ve algoritmaların nasıl tepki verdiğini ayrıntılı bir şekilde inceleme olanağı sunar. Bu incelemeler, her bir algoritmanın test fonksiyonlarının farklı özelliklerine ve karmaşıklıklarına nasıl adapte olduğunu ve hangi durumlarda daha iyi performans gösterdiğini belirlemeye yardımcı olur.

Sonuçlar, her bir algoritmanın güçlü ve zayıf yönlerini anlamamıza ve gelecekteki optimizasyon problemlerine daha iyi çözümler geliştirmemize yardımcı olacak değerli bilgiler sunar. Bu çalışmalar, algoritmaların genel uygulanabilirliklerini ve performanslarını anlamak için önemli bir adımdır ve çeşitli optimizasyon tekniklerinin karşılaştırmalı analizini sağlar.

#### 3.1. Beale Test Fonksiyonu

Beale test fonksiyonu, matematiksel optimizasyon problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan bir test problemidir. Bu fonksiyon, iki değişken içeren ve global minimum noktasını bulmak için kullanılan bir test aracı olarak tasarlanmıştır. Beale test fonksiyonu, Denklem 9'daki gibi ifade edilir [31][32].

$$f(x, y) = (1.5 - x + xy)^2 + (2.25 - x + xy^2)^2 + (2.625 - x + xy^3)^2 \quad (9)$$

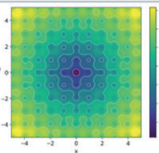
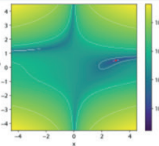
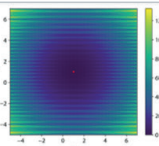
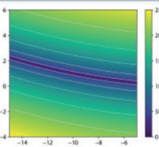
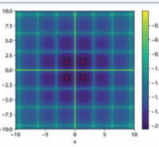
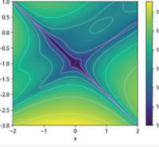
Tablo 1. Algoritmaların parametreleri ve sabitleri

Parametre	BAT Algoritması	PSO Algoritması	Parametre	BAT Algoritması	PSO Algoritması
Population_Size	50	50	Gamma	0.5	-
Num_Movements	50	50	Accuracy	3	3
Dimension(s)	2	2	Inertia	-	0.40
Freq_Min	0	-	Accel_Personal	-	0.20
Freq_Max	1	-	Accel_Social	-	0.40
Loudness	0.5	-	Min_Movements	-	20
PulseRate	0.5	-	Gamma	0.5	-

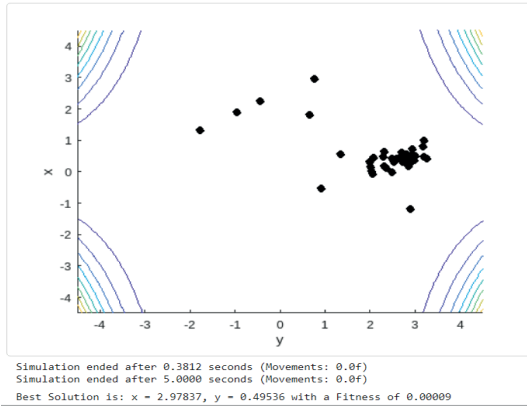
Bu fonksiyon, birden fazla lokal minimuma sahip karmaşık bir yapıya sahiptir, bu nedenle optimizasyon algoritmalarının doğruluğunu ve performansını test etmek için sıklıkla kullanılır. Beale test fonksiyonu, hem teorik hem de pratik açıdan matematiksel optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen algoritmaların etkinliğini değerlendirmek için bir referans olarak kullanılmaktadır. Bu test fonksiyonunun özellikleri ve çözümlü, optimizasyon alanında araştırma ve geliştirme çalışmalarının temelini oluşturur. Şe-

kil 4'te BA modelinin Beale testi sonucu, Şekil 5'te ise PSO modelinin Beale testi sonucu gösterilmiştir.

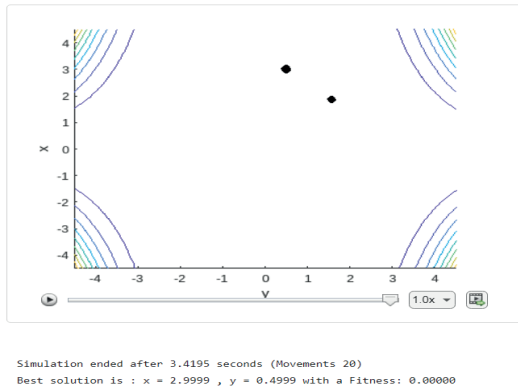
Şekil 3. Test fonksiyonları

İsim	Kompo	Formül	Küresel minimum	arama uzayı
Ackley function		$f(x, y) = -20 \exp \left[ -0.2 \sqrt{0.5 (x^2 + y^2)} \right] - \exp[0.5 (\cos 2\pi x + \cos 2\pi y)] + e + 20$	$f(0, 0) = 0$	$-5 \leq x, y \leq 5$
Beale function		$f(x, y) = (1.5 - x + xy)^2 + (2.25 - x + xy^2)^2 + (2.625 - x + xy^3)^2$	$f(3, 0.5) = 0$	$-4.5 \leq x, y \leq 4.5$
Lévi function N.13		$f(x, y) = \sin^2 3\pi x + (x - 1)^2 (1 + \sin^2 3\pi y) + (y - 1)^2 (1 + \sin^2 2\pi y)$	$f(1, 1) = 0$	$-10 \leq x, y \leq 10$
Bukin function N.6		$f(x, y) = 100 \sqrt{ y - 0.01x^2 } + 0.01 x + 10 .$	$f(-10, 1) = 0$	$-15 \leq x \leq -5, -3 \leq y \leq 3$
Cross-in-tray function		$f(x, y) = -0.0001 \left[ \left  \sin x \sin y \exp \left( \left  100 - \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\pi} \right  \right) \right  + 1 \right]^{0.1}$	$\text{Min} = \begin{cases} f(1.34941, -1.34941) = -2.06261 \\ f(1.34941, 1.34941) = -2.06261 \\ f(-1.34941, 1.34941) = -2.06261 \\ f(-1.34941, -1.34941) = -2.06261 \end{cases}$	$-10 \leq x, y \leq 10$
Goldstein-Price function		$f(x, y) = \left[ 1 + (x + y + 1)^2 (19 - 14x + 3x^2 - 14y + 6xy + 3y^2) \right] \left[ 30 + (2x - 3y)^2 (18 - 32x + 12x^2 + 48y - 36xy + 27y^2) \right]$	$f(0, -1) = 3$	$-2 \leq x, y \leq 2$

Şekil 4. BA modelinin Beale testi sonucu



Şekil 5. PSO modelinin Beale testi sonucu



### 3.2. Ackley Test Fonksiyonu

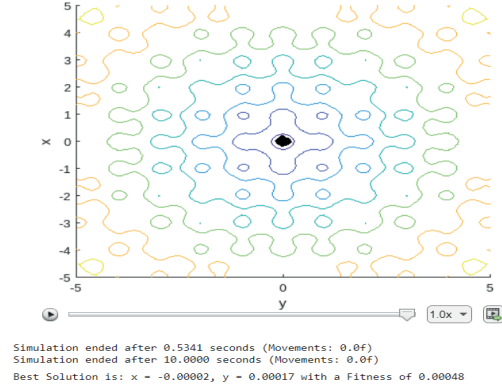
Ackley test fonksiyonu, matematiksel optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir test problemidir. Bu fonksiyon, hem çok boyutlu hem de düzlemsel alanlarda optimize edilebilirlik analizlerinin yapılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ackley test fonksiyonu denklem 10'da yer almaktadır [33].

$$f(x, y) = -20 \exp \left[ -0.2 \sqrt{0.5(x^2 + y^2)} \right] - \exp[0.5(\cos 2\pi x + \cos 2\pi y)] + e + 20 \quad (10)$$

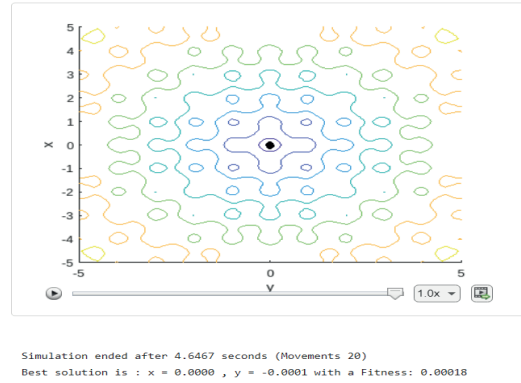
Bu fonksiyon, birçok lokal minimuma sahip olmasıyla bilinir ve bu nedenle optimizasyon algoritmalarının performansını test etmek için ideal bir seçimdir. Ackley test fonksiyonu, farklı boyutlardaki ve şekillerdeki fonksiyonların optimize edilmesi durumunda algoritmaların karşılaşılabileceği zorlukları belirlemek için kullanılır. Bu nedenle, Ackley test fonksiyonu, optimizasyon algoritmalarının doğruluğunu, hızını ve genel performansını değerlendirmek için güvenilir

bir referans olarak kabul edilir. Şekil 6'da BA modelinin Ackley testi sonucu, Şekil 7' de ise PSO modelinin Ackley testi sonucu gösterilmiştir.

Şekil 6. BA modelinin Ackley testi sonucu



Şekil 7. PSO modelinin Ackley testi sonucu



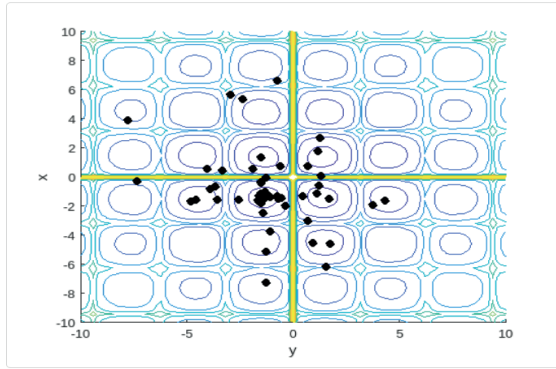
### 3.3. Cross in Tray Test Fonksiyonu

Cross in Tray test fonksiyonu, matematiksel optimizasyon problemlerinin değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için kullanılan bir test problemidir. Bu fonksiyon, iki boyutlu uzayda optimize edilecek bir fonksiyon olarak tanımlanır. Cross in Tray test fonksiyonu, denklem 11'de yer almaktadır [34].

$$f(x, y) = -0.0001 \cdot \left( \left| \sin(x) \cdot \sin(y) \cdot \exp \left( \left| 100 - \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{\pi} \right| \right) \right| + 1 \right)^{0.1} \quad (11)$$

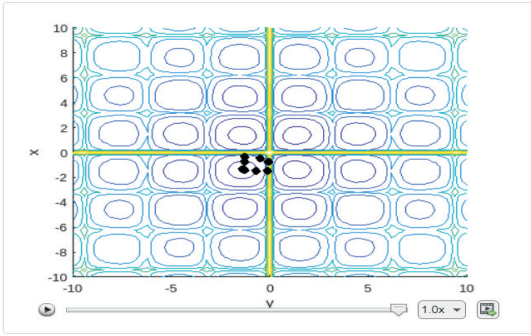
Şekil 8'de BA modelinin Cross in Tray testi sonucu, Şekil 9' da ise PSO modelinin Cross in Tray testi sonucu gösterilmiştir.

Şekil 8. BA modelinin Cross in Tray testi sonucu



Simulation ended after 0.2275 seconds (Movements: 0.0f)  
Simulation ended after 3.0000 seconds (Movements: 0.0f)  
Best Solution is: x = -1.34077, y = -1.33943 with a Fitness of -2.06259

Şekil 9. PSO modelinin Cross in Tray testi sonucu



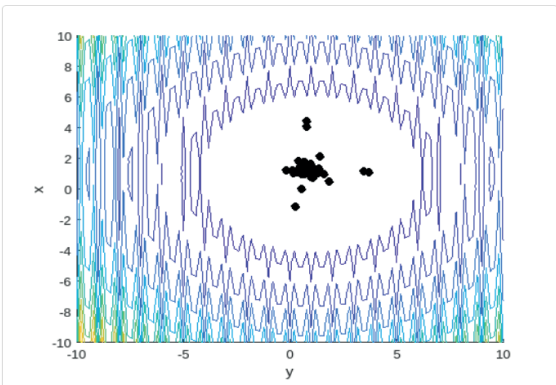
Simulation ended after 4.3415 seconds (Movements 20)  
Best solution is : x = -1.3495 , y = -1.3494 with a Fitness: -2.06261

### 3.4. Levi Test Fonksiyonu

Levi test fonksiyonu, matematiksel bir ifade olarak Denklem 12'de yer almaktadır [35].

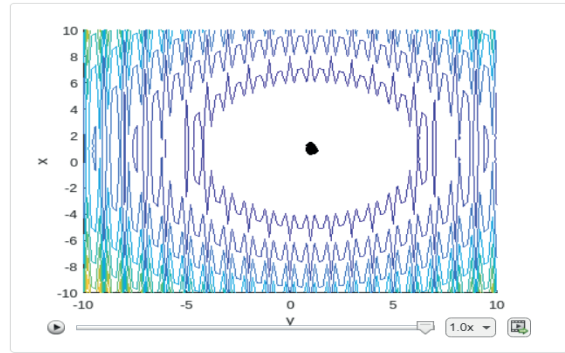
Şekil 10'da BA modelinin Levi testi sonucu, Şekil 11' de ise PSO modelinin Levi testi sonucu gösterilmiştir.

Şekil 10. BA modelinin Levi testi sonucu



Simulation ended after 0.3770 seconds (Movements: 0.0f)  
Simulation ended after 5.0000 seconds (Movements: 0.0f)  
Best Solution is: x = 1.00094, y = 1.00696 with a Fitness of 0.00013

Şekil 11. PSO modelinin Levi testi sonucu



Simulation ended after 5.2303 seconds (Movements 20)  
Best solution is : x = 1.0001 , y = 0.9985 with a Fitness: 0.00000

### 3.5. Bukin Test Fonksiyonu

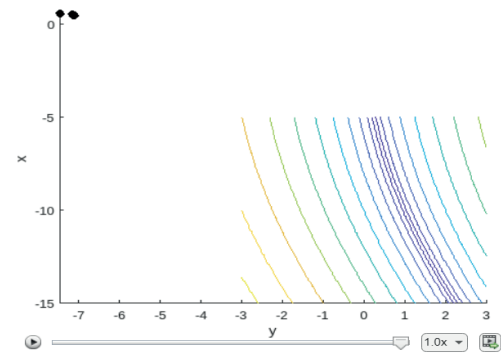
$$f(x, y) = \sin^2(3\pi x) + (x - 1)^2 \cdot (1 + \sin^2(3\pi y)) + (y - 1)^2 \cdot (1 + \sin^2(2\pi y)) \quad (12)$$

Bu fonksiyon, iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanır ve çeşitli optimizasyon algoritmalarının performansını test etmek için kullanılır. Matematiksel bir ifade olarak, Bukin test fonksiyonu Denklem 13'te gösterilmiştir [36].

$$(x, y) = 100 \cdot \sqrt{|y - 0.01x^2|} + 0.01 \cdot |x + 10| \quad (13)$$

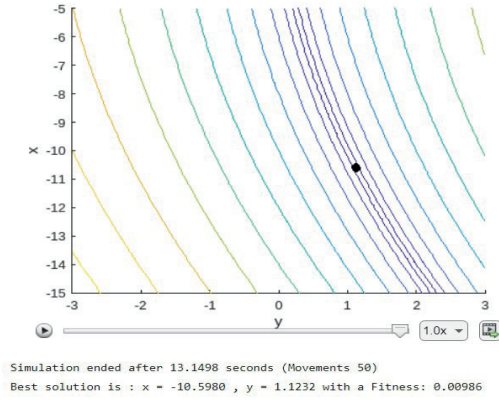
Şekil 12'de BA modelinin Bukin testi sonucu, Şekil 13' te ise PSO modelinin Bukin testi sonucu gösterilmiştir.

Şekil 12. BA modelinin Bukin testi sonucu



Simulation ended after 15.0549 seconds (Movements: 0.0f)  
Simulation ended after 50.0000 seconds (Movements: 0.0f)  
Best Solution is: x = -7.10134, y = 0.50429 with a Fitness of 0.02908

Şekil 13. PSO modelinin Bukin testi sonucu

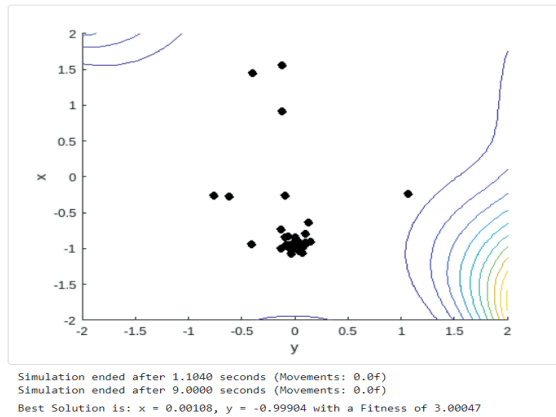


### 3.6. Goldstein Price Test Fonksiyonu

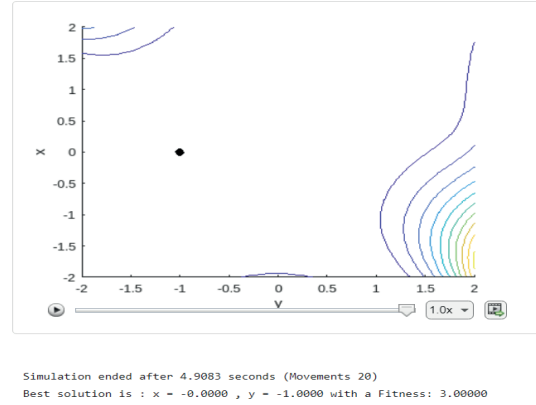
Denklem 14'teki Goldstein-Price test fonksiyonu, matematiksel optimizasyon algoritmalarının performansını değerlendirmek ve karşılaştırmak için kullanılan bir test problemidir. Bu fonksiyon, iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanır ve genellikle global minimumunu bulmak için optimizasyon algoritmalarının etkinliğini test etmek için tercih edilir [37].

Şekil 14'te BA modelinin Goldstein Price testi sonucu, Şekil 15'te ise PSO modelinin Goldstein Price testi sonucu gösterilmiştir.

Şekil 14. BA modelinin Goldstein Price testi sonucu



Şekil 15. PSO modelinin Goldstein Price testi sonucu



Tablo 2, Yarasa Algoritması (YA) ve Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) algoritmalarının altı farklı test fonksiyonu üzerindeki performanslarını karşılaştırmaktadır. Tabloda kullanılan "Uygunluk Değeri", bir fonksiyonun minimum değerine ne kadar yakın olduğunu gösteren bir ölçüttür. "Optimum Çözüm" ise fonksiyonun minimum değerini veren x ve y değerlerini temsil etmektedir. Her bir fonksiyon için elde edilen sonuçlar ve algoritmaların performans değerlendirildiğinde Bukin fonksiyonu hariç YA ve PSO benzer performans göstermiştir denilebilse de çözüm hassasiyeti bakımından PSO daha iyidir. Bukin test fonksiyonu da ise YA, PSO'ya göre daha iyi performans göstermiştir.

Tablo 2. Test fonksiyonu sonuçları

Test Fonksiyonu	Algoritma	Fitness Değeri	Optimum Çözüm	
			x	y
Beale	BA	0.00009	2.9783	0.4933
	PSO	0.00008	2.9999	0.4999
Ackley	BA	0.00048	-0.00002	0.00017
	PSO	0.00018	0.0000	-0.0001
Cross in Tray	BA	-2.06259	-1.3407	-1.3394
	PSO	-2.06261	-1.3495	1.3494
Levi	BA	0.00013	1.0009	1.0069
	PSO	0.00000	1.0001	0.9985
Bukin	BA	0.02908	-7.1013	0.5042
	PSO	0.00986	-10.5980	1.1232
Goldstein Price	BA	3.00047	0.0010	-0.9999
	PSO	3.00000	0.0000	-1.0000



#### 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile Yarasa Algoritması (BA) gibi doğa esinli optimizasyon algoritmalarının karşılaştırmalı performans analizini gerçekleştirmiştir. Analizlerde, Beale, Ackley, Cross in Tray, Levi, Bukin ve Goldstein Price test fonksiyonları, algoritmaların performansını değerlendirmek için seçilmiştir.

Tablo 1'deki sonuçlar göz önüne alındığında, PSO'nun Beale, Ackley, Levi ve Goldstein Price gibi test fonksiyonları üzerinde genellikle daha düşük uygunluk değerleri elde ettiği gözlemlenmiştir. Özellikle Beale ve Levi testlerinde, PSO'nun BA'ya kıyasla belirgin şekilde daha iyi bir optimizasyon performansı sergilediği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, PSO'nun bu tür test fonksiyonları için daha etkili bir çözüm sağladığını ve genellikle daha hızlı yakınsama oranlarına ulaştığını öne sürmektedir.

Ancak, Cross in Tray ve Bukin gibi bazı test fonksiyonları için BA algoritmasının daha iyi bir performans sergilediği gözlemlenmiştir. Özellikle, Bukin test fonksiyonunda, BA'nın elde ettiği uygunluk değerinin PSO'dan önemli ölçüde daha düşük olduğu belirlenmiştir. Bu durum, BA'nın bazı özel problem alanları için daha uygun bir optimizasyon yaklaşımı sunduğunu ve PSO'nun bu tür test fonksiyonları için her zaman en iyi seçenek olmadığını ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar, test fonksiyonlarının karmaşıklığına ve özelliklerine bağlı olarak analizlerin değişiklik gösterebileceğini vurgulamaktadır. Bir algoritmanın performansı, değerlendirildiği problem türüne özgü olarak farklılık gösterebileceği unutulmamalıdır. Aynı zamanda bir algoritmanın tüm problem türlerinde en iyi sonucu vereceği garanti edilemez ve problem karmaşıklığı göz önünde bulundurularak farklı algoritmaların performansları dikkatle analiz edilmelidir.

Bu karşılaştırmalı analizlerin ışığında, belirli bir optimizasyon probleminde hangi algoritmanın kullanılacağı kararında problem yapısı ve optimizasyon hedefleri dikkate alınmalıdır. PSO ve BA gibi doğa esinli algoritmalar, farklı problem tipleri ve optimizasyon gereksinimleri için farklı avantajlar sunabilir. Örneğin, PSO daha hızlı yakınsama sağlayabilirken, BA bazı özel problem

tiplerinde daha istikrarlı sonuçlar verebilir.

Bu çalışma, sadece belirli test fonksiyonları üzerinde gerçekleştirilmiş olup, gerçek dünya uygulamalarında algoritmaların performansını değerlendirmek, kapsamlı testler ve karşılaştırmalar gerekmektedir. Gelecekteki araştırmalarda, farklı problem ve optimizasyon gereksinimleri için daha kapsamlı bir analiz yapılması önerilmektedir. Ayrıca, algoritmaların parametrelerinin ve yapılandırılmalarının performans üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı bir şekilde incelenmesi, algoritmaların daha iyi anlaşılmasını ve daha etkili bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.

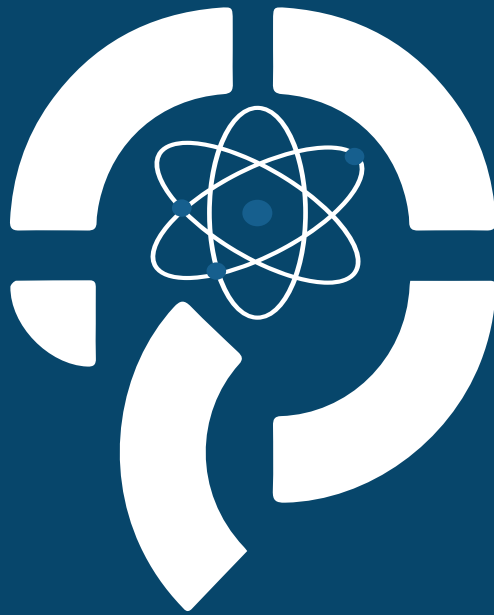
#### KAYNAKÇA

- [1] Cong, P., Xu, G., Wei, T., & Li, K. (2020). A survey of profit optimization techniques for cloud providers. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 53(2), 1-35.
- [2] Shah, A. S., Nasir, H., Fayaz, M., Lajis, A., & Shah, A. (2019). A review on energy consumption optimization techniques in IoT based smart building environments. *Information*, 10(3), 108.
- [3] Çunkaş M., Elektrik Makinalarının Genetik Algoritmayla Optimizasyonu, Doktora Tezi, Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enst. 2004, Konya
- [4] Holland, J. H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. University of Michigan Press.
- [5] Storn, R., & Price, K. (1997). Differential Evolution – A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces. *Journal of Global Optimization*, 11(4), 341-359.
- [6] Yang, X. S. (2010). A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm. In: *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*. Studies in Computational Intelligence, vol 284. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [7] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942-1948.
- [8] Karaboğa D., Yapay zeka optimizasyon algoritmaları, Atlas Yayınları, 2004.
- [9] Rahimpour E., Rashtchi V., Pesaran M., "Parametrelerin Optimizasyonuna Etkileri Üzerinde Bir İnceleme"

- ter identification of deep-bar induction motors using genetic algorithm", *Electrical Engineering*, 89(7): 547-552, 2007
- [10] Özçelik, F. (2018). Basit düz ve U-tipi montaj hattı dengeleme problemleri için diferansiyel evrim algoritması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(1), 130-140.
- [11] Wang, D., Tan, D., & Liu, L. (2018). Particle swarm optimization algorithm: an overview. *Soft computing*, 22(2), 387-408.
- [12] Yang, X. S., & He, X. (2013). Bat algorithm: literature review and applications. *International Journal of Bio-inspired computation*, 5(3), 141-149.
- [13] Erdoğan, P. (2016). Doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları ve optimizasyon algoritmalarının optimizasyonu. *Düzce üniversitesi bilim ve teknoloji dergisi*, 4(1), 293-304.
- [14] Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *simulation*, 76(2), 60-68.
- [15] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995, November). Particle swarm optimization. In *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks (Vol. 4, pp. 1942-1948)*. ieee.
- [16] Shi, Y., & Eberhart, R. C. (1999, July). Empirical study of particle swarm optimization. In *Proceedings of the 1999 congress on evolutionary computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406) (Vol. 3, pp. 1945-1950)*. IEEE.
- [17] Özsağlam, M. Y., & Çunkaş, M. (2008). Optimizasyon problemlerinin çözümü için parçacık sürü optimizasyonu algoritması. *Politeknik Dergisi*, 11(4), 299-305.
- [18] Robinson, J. and Rahmat-Samii, Y., 2004. Particle swarm optimization in electromagnetics, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 52(2), 397-407.
- [19] Akbulut, İ. (2009). Parçacık sürü optimizasyonu ile anten tasarımı., Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, İstanbul.
- [20] Yang, X. S., & He, X. (2013). Bat algorithm: literature review and applications. *International Journal of Bio-inspired computation*, 5(3), 141-149.
- [21] Tsai, P. W., Pan, J. S., Liao, B. Y., Tsai, M. J., & Istanda, V. (2012). Bat algorithm inspired algorithm for solving numerical optimization problems. *Applied mechanics and materials*, 148, 134-137.
- [22] Yang, X. S., & Hossein Gandomi, A. (2012). Bat algorithm: a novel approach for global engineering optimization. *Engineering computations*, 29(5), 464-483.
- [23] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Yang, X. S. (2014). Binary bat algorithm. *Neural Computing and Applications*, 25, 663-681.
- [24] Gandomi, A. H., Yang, X. S., Alavi, A. H., & Talatahari, S. (2013). Bat algorithm for constrained optimization tasks. *Neural Computing and Applications*, 22, 1239-1255.
- [25] Yıldızdan, G. (2021). Büyük ölçekli sürekli optimizasyon problemleri için yarasa algoritması tabanlı hibrit yöntemlerin geliştirilmesi.
- [26] Chawla M. ve Duhan M., 2015, Bat algorithm: a survey of the state-of-the-art, *Applied Artificial Intelligence*, 29 (6), 617-34.
- [27] Yang X.-S., 2010a, A new metaheuristic bat-inspired algorithm, *Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010)*, 284, Springer, Berlin, Heidelberg, 65-74.
- [28] Ekinci S. (2015). Power system stabilizer design for multi-machine power system using bat search algorithm, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 33(4): 627-637, 2015.
- [29] Doğru, A. S., Temel, B., & Eren, T. (2019). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu ve Yarasa Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(3), 793-801.
- [30] Doğru, A. S., & Tolga, E. R. E. N. (2020). Kablosuz Sensör Ağlarında Konum Belirlemede Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yarasa Algoritması, Diferansiyel Gelişim Algoritması ve Ateşböceği Algoritması Yöntemlerinin Karşılaştırılması. *International Journal of Engineering Research and Development*, 12(3), 52-64.
- [31] Beale, Evelyn ML. "On minimizing a convex function subject to linear inequalities." *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology* 17.2 (1955): 173-184.
- [32] Beale, D., & Feinstein, A. (1976). Structure and function of the constant regions of immunoglobulins. *Quarterly reviews of biophysics*, 9(2), 135-180.
- [33] Porter, B., & Xue, F. (2001, May). Niche evolution

- strategy for global optimization. In Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No. 01TH8546) (Vol. 2, pp. 1086-1092). IEEE.
- [34] Vishwakarma, V., Haq, S. A., Schleicher, E., Schubert, M., & Hampel, U. (2021). Experimental analysis of the hydrodynamic performance of an industrial-scale cross-flow sieve tray. *Chemical Engineering Research and Design*, 174, 294-306.
- [35] Andrews, S. C., Harrison, P. M., Yewdall, S. J., Arosio, P., Levi, S., Bottke, W., ... & Lobreaux, S. (1992). Structure, function, and evolution of ferritins. *Journal of inorganic biochemistry*, 47(1), 161-174.
- [36] Mishra, S. K. (2006). Some new test functions for global optimization and performance of repulsive particle swarm method. Available at SSRN 926132.
- [37] Fenwick, M., & McCrimmon, A. W. (2015). Test review: comprehensive executive function inventory by JA Naglieri and S. Goldstein.

**E-ISSN :** 3023-4735  
**DOI:** 10.70447/ktve



Journal of Quantum Technologies  
and Informatics Research

**JQTIR**