

# Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar-II

*Research on Mathematics and Science- II*

**Editör: Doç. Dr. Adile Akpınar**



**ÖZGÜR  
YAYINLARI**

# Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar-II

**Editör**

Doç. Dr. Adile Akpınar



Published by

**Özgür Yayın-Dağıtım Co. Ltd.**

Certificate Number: 45503

📍 15 Temmuz Mah. 148136. Sk. No: 9 Şehitkamil/Gaziantep

☎ +90.850 260 09 97

📞 +90.532 289 82 15

🌐 www.ozgurayinlari.com

✉ info@ozgurayinlari.com

---

## Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar-II

*Research on Mathematics and Science – II*

Editor: Doç. Dr. Adile Akpınar

---

Language: Turkish-English

Publication Date: 2023

Cover design by Mehmet Çakır

Cover design and image licensed under CC BY-NC 4.0

Print and digital versions typeset by Çizgi Medya Co. Ltd.

**ISBN (PDF):** 978-975-447-660-6

**DOI:** <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub165>

---



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>  
This license allows for copying any part of the work for personal use, not commercial use, providing author attribution is clearly stated.

---

Suggested citation:

Akpınar, A. (ed) (2023). *Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar-II*. Özgür Publications.

DOI: <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub165>. License: CC-BY-NC 4.0

---

*The full text of this book has been peer-reviewed to ensure high academic standards. For full review policies, see <https://www.ozgurayinlari.com/>*

---



## *Ön Söz*

Matematik ve Fen bilimleri Üzerine Araştırmalar' başlıklı kitabın hazırlanmasındaki temel amaç, matematik, fizik, kimya, biyoloji gibi temel bilimlere ait güncel bilgileri veya araştırma bulgularını bir araya getirmektir. Kitap ile sunulan bölümler, sonrasındaki çalışmalar için kaynak niteliğinde olup yeni araştırmalar ve fikirler için ışık tutacaktır. Farklı disiplinleri bir araya getiren bu kitap ile başta lisans öğrencileri olmak üzere akademisyenlerin ve araştırmacıların çalışmalarına önemli katkılar sağlayacaktır. Kitabın hazırlanmasında emeği geçen tüm bölüm yazarlarına ve kitabı okuyucuları ile buluşturma fırsatı sunan 'Özgür Yayınları'nın tüm bireylerine teşekkür ederim.

Doç. Dr. Adile Akpınar



## *Preface*

The main purpose of preparing the book titled ‘Research on Mathematics and Science’ is to bring together current information or research findings in basic sciences such as mathematics, physics, chemistry and biology. The chapters presented in the book will be a source for future studies and will be light on new research and ideas. This book, which brings together different disciplines, will make significant contributions to the studies of academics and researchers, especially undergraduate students. I would like to thank all the authors of the chapters who contributed to the preparation of the book, and all the individuals of ‘Özgür Yayınları’ who provided the opportunity to bring the book together with its readers.

Assoc. Prof. Adile Akpınar



# İçindekiler

Ön Söz	iii
Praface	v

## Bölüm 1

---

Fen Bilimleri Eğitiminde Dijital Uygulamalar, Yapay Zekâ ve Akıllı Yazılımlar: Tehditler ve Fırsatlar	1
--	---

*Adem Yılmaz*

## Bölüm 2

---

Mimikri Davranışı; Örümceklerde Yaşam Kurtaran Mimikri Örnekleri	21
--	----

*Adile Akpınar*

## Bölüm 3

---

Bayesyen Regresyon Modelinde Stokastik Kısıt Altında Parametrelerin Tahmini	29
--	----

*Berrin Gultay*

## Bölüm 4

---

Sonlu Cisimler Üzerinde Golay ve Hamming Kodları	43
--	----

*Mustafa Özkan*

*Elif Bıyıklı*

## Bölüm 5

---

Genetic Engineering and Biotechnology: An Overview of The Principles That Define Genetic Engineering	55
---	----

*Orhan Uluçay*

*Nurcan Koç*



## Bölüm 6

---

The Evolution of Bézier Curves in Computer-Aided Geometric Design  
(CAGD): A Systematic Review 67

*Seda Karateke*

*Rumeysa Akalın*

*Mehmet Gümüş*

## Bölüm 7

---

Nobel Molecule Artemisia-Annua and T-CD8+ Receptor Bestfit  
Interactions 83

*Ülkü Bayhan*

*Remziye Banka*

## Bölüm 8

---

Güneş Hücreleri 93

*Veysel Çelik*

# Fen Bilimleri Eğitiminde Dijital Uygulamalar, Yapay Zekâ ve Akıllı Yazılımlar: Tehditler ve Fırsatlar

Adem Yılmaz<sup>1</sup>

## Özet

Ülkelerin gelişmelerinin teknolojik gelişmeler ile paralel bir şekilde ilerlediği günümüzde bilinen bir gerçektir. Nitekim gelişmiş ülke seviyesine gelmek isteyen her ülke, teknolojiden yararlanarak kendini ilerletmeli ve bu dönüşüme ayak uydurabilmelidir. Bu ilerlemenin gerçekleşebilmesinin yolu eğitimden ve dolayısıyla teknoloji ve bilimden geçmektedir. Teknolojinin eğitim bilimlerine yansımaları ise fen bilimleri eğitimi ile mümkündür. Teknolojik gelişmeler kapsamında gündemde olan yapay zekâ ve akıllı yazılımlar, gelişmiş ülkelerin üzerinde çalışmalar ve yatırımlar yaptığı bir alan haline gelmeye başlamıştır. Birçok ülke yapay zekâ uygulamalarını eğitim bilimleri ve fen bilimleri alanında kullanmaya başlamıştır. Bazı ülkeler bu konuda yasa ve yönetmelikler dahi hazırlamıştır. Çin gibi teknoloji konusunda önde olan ülkeler yazılım ve kodlama derslerini ilkökul düzeyinde eğitim programlarına dâhil etmeye başlamıştır. Akıllı yazılımlar ve yapay zekâ uygulamaları eğitim sürecini daha zevkli ve öğrenmeyi daha kalıcı bir hale getirmektedir. Bilgiye hızlı bir şekilde erişilmesi gün geçtikçe bu uygulamaların daha çok hayatımızda yer alacağını göstermektedir.

## 1. Giriş

Günümüz insan yaşamında, geçmiş çağ insan yaşamına göre belirgin farklılıklar bulunmakta ve bu farklılıklar zamanla daha da artmaktadır (Günbatar, 2020). Durağan bir yapıya sahip olmayan insan toplulukları, sürekli olarak değişimler ve gelişimler yaşamaktadır. Değişimler ve gelişimler her dönemde ve her toplumda farklılık gösterebilmektedir. Bu farklılıklar yaşam içeriklerinin tüm paydaşlarında kendini hissettirmektedir. Bu paydaşlara toplumun kültürü, eğitim sistemi, ekonomik yaşantı, sosyo-kültürel yapı gibi bir toplumun varlığı için önemli olan unsurlar örnek verilebilir. Değişim ve gelişimin

1 Doç. Dr., Kastamonu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Matematik ve Fen Bilimleri Eğitim Bölümü, Fen Bilgisi Eğitimi Ana Bilim Dalı, yilmazadem@kastamonu.edu.tr, Orcid: 0000-0002-1424-8934

toplum yaşamına entegre edilebilmesinde eğitimin rolü oldukça önemlidir (Loveless ve Ellis, 2002). Bu noktada günümüz değişim ve dönüşümlerini her alanda tetikleyen teknolojinin gelişimi, eğitim sistemlerinin de kendini dönüştürmesini gerekli hale getirmiştir.

Teknolojide yaşanan yeni gelişmeler, eğitim hedeflerinin, öğretim programlarının, öğretim materyallerinin, öğretimin gerçekleştiği alanların, öğrenen-öğreten-okul-ebeveyn gibi eğitimin paydaşlarından beklenen yeterliliklerin değişmesine sebep olmuştur (Yılmaz, 2021a). Örneğin öğretim programlarında teknolojinin yeri kazanımlarda ve amaçlarda kendini göstermektedir. Günümüzde kullanımda olan 2018 Fen bilimleri dersi öğretim programı iyi bir örnek olup teknolojinin hızlı ilerleyişi sebebiyle ihtiyaçlar doğrultusunda hazırlanmıştır (MEB, 2018). Bu değişim ve dönüşüm furyası eğitimin sadece bir paydaşında ya da bir programında gerçekleşen küçük bir uygulama değişikliği değildir. Okul öncesinden yükseköğretime, tarihten matematiğe, sosyal bilimlerden fen bilimlerine kadar birçok yaşta ve alanda değişimler, dönüşümler yaşanmaktadır. Eğitimde teknolojiye yönelik çeşitli değişimlerin yaşanmasının sebebi ise toplumun, dolayısıyla ülkenin gelişmişlik düzeyinin artmasını sağlamaktır. Dolayısıyla eğitim ve teknoloji yakın ilişkiler içerisinde (Akgün, 2013).

Gelişmiş ülkelere bakıldığında teknoloji ve eğitim ilişkilerinin iyi yönetilerek, nitelikli insan gücünü oluşturdukları görülmektedir. Ülkemizde de teknoloji ve bilimde ilerlemeler için fen bilimleri eğitimi, eğitimin her kademesinde yerini almıştır (Taş, 2017). Ancak öğrenilmesi ve öğretilmesi konusunda çeşitli zorluklar yaşandığının (Yıldız, Ilgaz ve Seferoğlu, 2010) bilinmesiyle birlikte bu zorlukların aşılması için teknolojiden yardım alınması yerinde bir davranış olarak görülmektedir. Nitekim fen bilimleri eğitiminde teknolojik gelişmeler takip edilerek kullanılmaktadır ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

## **2. Fen Bilimleri Eğitiminde Teknolojik Gelişmeler**

Durağan bir yapıya sahip olmayan ve ebatı oldukça küçülen ve ilk tasarımları oda büyüklüğünde olan bilgisayarlar ve buna bağlı olarak teknolojilerinin arttığı günümüz dünyasında değişim ve dönüşüm hareketliliği her alanda olduğu gibi eğitim alanına da yansımıştır (Taş ve Çepni, 2011). Fen bilimleri eğitimi bu değişim ve dönüşümün önemli unsurlarındandır (Daşdemir ve Doymuş, 2012). Dolayısıyla fen bilimleri eğitimi ve teknolojinin iç içe yürütülmesi değişim ve dönüşüm amacının gerçekleştirilmesi için yerinde bir uygulama olacaktır (Yılmaz, 2021b).

Fen bilimleri açısından olaya yaklaşıldığında öğretim programlarında, materyal kullanımında ve kavram öğretimi gibi eğitimin önemli unsurlarında teknoloji ve bilişim araçları sıklıkla kullanılmaktadır. Bu değişim ve dönüşümün eğitime yansımaları konusunda karşımıza Teknoloji Destekli Öğretim çıkmaktadır. 1960'lı yıllarda Amerika'da ortaya çıkan TDÖ zamanla sağladığı kolaylıklar ve yenilikler sayesinde tüm dünyaya yayılmıştır (Akçay, 2003). Öğretim araçları olarak kullanılabilen ve aynı zamanda kitle iletişim araçları (Kutluca ve Ekici, 2010) olarak da tanımlanabilen TDÖ'nün öğrencilerin akademik başarıları üzerinde olumlu etkiye sahip olduğu bilinmekle beraber (Batdı, Aslan ve Zhu, 2018) öğrenmenin hızlı ve kalıcı olmasını, öğrenenlere motivasyon sağlama, anlatılan konuların pekiştirilmesi ve kolaylaştırması gibi etkilerde de bulunmaktadır (Çakır, 1999). TDÖ kendi içinde alt alanlara ayrılmaktadır. Bu alanlar bilgisayar destekli öğrenme, uzaktan öğrenme, elektronik öğrenme, internet destekli öğrenme bunlardan bazılarıdır (Çelikköz ve Kol, 2016). Bu alt alanlardan Bilgisayar Destekli Öğrenme (BDÖ) bilgisayarların sınıf ortamlarında kullanılmasıyla eğitimde yerini almıştır. Müfredat konularının öğrencilerin öğrenmelerine yardımcı olması amacıyla bilgisayar kullanılmaktadır. Öğrencilerin motivasyonlarını arttırmakla birlikte kendi öğrenme hızlarına göre kullanabilecekleri bir öğretim yöntemidir (Çelik ve Karamustafaoglu, 2016). BDÖ'de önemli olan bilgisayarların olanakları ile öğretilmek istenenin etkileşimli olarak öğrenilmesini sağlamaktır. BDÖ, fen bilimleri eğitiminde kavram öğretimi, verilerin toplama işlemleri, verilerin yeniden düzenlenmesi ve analiz edilmesi gibi becerilerin kazanılmasında olumlu etkiye sahiptir (Güven ve Sülün, 2012).

Yapılan çalışmalarda fen bilimleri derslerinde BDÖ kullanımının öğrencilerin ilgilerini arttırdığı, soyut kavramları daha kolay öğrendikleri (Aslan Efe, 2011), araştırma becerilerini geliştirdiği (Özdemir ve Yıldız, 2016), mantıklı düşünme becerilerini arttırdığı (Sebetci ve Aksu, 2014), öğrencilerin kendilerine güvenlerinin pekiştiği (Marulcu, Saylan ve Güven, 2014) ve kavram yanlışlarının azalmasına yardım ettiği (Gökulu, 2013) sonuçlarına ulaşılmıştır. Teknoloji destekli öğretimin alt alanları içerisinde web destekli öğretimin materyallerin çeşitlenerek öğretimin kolay ve anlaşılır hale getirilmesinde ve fen bilimleri eğitiminde ihtiyaç duyduğu anda hızlı bir şekilde bilgiye ulaşabilme ve kullanabilme becerilerine sahip öğrencilerin yetiştirilmesinde önemli bir yeri vardır (Şenel Çoruhlu, Er Nas ve Keleş, 2016). Bu noktada Web 1.0, Web 2.0 ve Web 3.0 teknolojilerinden bahsetmek yerinde olacaktır. Bu teknolojiler karşılaştırmalı olarak aşağıda Tablo 1'de sunulmuştur (Taşkın Ekici ve Ekici, 2021. s.4).

**Tablo 1. Web1.0 Web2.0 ve Web3.0 ağ teknolojilerinin karşılaştırılması**

Web 1.0	Web 2.0	Web 3.0
Yalnızca okunabilir.	Okunabilir ve yazılabilir.	Okunabilir, yazılabilir ve programlanabilir.
Yönetici kontrollü.	Kullanıcı kontrollü.	Bilgisayar kontrollü.
Monolog ve platform kontrolünde.	Etkileşimli ve kısmen platform kontrolünde.	Semantik ve platformdan bağımsız.
Sayfa içerikleri tek bir yerde ve yönetici tarafından güncellenebilir.	İçerik destekleyen her cihazda vardır ve her zaman güncellenebilir.	İçerik her yerde ve her zaman güncellenebilir.
Sadece bilgi almak için kullanılır, bilgi üretilmez.	Teknik bilgi gerektirmez, insan odaklıdır.	Makineler verileri anlamlandırarak derleyebilir.
Örn: Kişisel web sayfaları.	Örn: Bloglar.	Örn: Apple Siri.

Görüldüğü üzere Web 1.0 araçları yalnız bilgi arama ve okumaya yönelikken Web 2.0 daha etkileşimli olup eğitimde kullanıma daha yatkındır. Web 3.0 ise bir sonraki başlık altında anlatılacak olan yapay zekâ uygulamaları, teknikleri ve akıllı yazılımlardan oluşan teknolojidir. Dolayısıyla daha sonra detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Web 2.0 araçlarından örnekler aşağıda yer almaktadır (Taşkın Ekici ve Ekici, 2021. s.17-90).

**Quizizz:** Çevrimiçi olarak kullanılabilen, e-posta veya Google hesabıyla giriş yapılabilen telefon, tablet veya kişisel bilgisayarlarda kullanıma uygun olan ücretsiz hizmet veren bir araçtır. 2015 yılında Antik Gupta ve Deepak J. Cheenath tarafından kurulan Quizizz ilk defa Hindistan’da daha sonra 2018 yılında Amerika Birleşik Devletleri’nde kullanılmıştır. Anket, test, yarışma gibi etkinlikleri ders öncesinde ister öğretmenler kendileri hazırladıkları soruları kullanarak isterlerse arşivden hazır olan soruları kullanıp düzenleyebilirler. 5 yaş ve üzeri öğrenciler için kullanılabilen ve eğlenerek öğrenebilecekleri bir araçtır. Fen bilimleri eğitiminde kullanılmasıyla oyunlaştırarak kavram öğretimini kolaylaştırma imkânı sağlamaktadır.

**Canva:** İşletmelere pazarlama malzemelerinin üretiminde bir araç olarak kullanılmak için Melanie Perkins tarafından şirket olarak kurulan (Çeçen, 2020) Canva, hazır şablon, resim, grafik, fotoğraf vb. gibi görsel materyalleri sunan bir araçtır. Ücretsiz kullanımları olduğu gibi ücretli olarak tasarımların yapılabileceği Canva öneriler sunmakta ve tasarımlarınızı png, pdf, mp4 ve jpeg formatlarında indirebilme fırsatı vermektedir.

**Coggle:** Zihin ve kavram haritalarının oluşturulabildiği sürükle bırak yöntemiyle çalışan Coggle, bilgisayar, telefon veya tabletlerde kullanıma uygundur. Türkçe dil desteği bulunmayan ancak çevrimiçi ve uygulamanın indirilip mobil cihazlarda kullanıma uygun olan bu araçta şablonların oluşturulması, düşünme ve bilgilerin depolanması örnek olarak hazırlanmaktadır. Kavram ve zihin haritalarının kullanılması, kavram yanılgılarının önlenmesi ve ders sonunda işlenen konunun özetlenmesi gibi kolaylıklar sağlamaktadır.

**AniMaker:** Animasyonların hazırlanması ve oluşturulması sürecini eğlenerek öğrenilen bir etkinlik haline getiren AniMaker, kullanıcılarına hazır karakter, arka plan şablon sunarak video ve animasyon hazırlamada kolaylık sağlamaktadır. Ücretsiz olarak ayda 5 video ve 10 GIF indirilebilmektedir. Ayrıca takım çalışması ile iş birliğine açık bir araçtır. İşlenecek derse özgü ses ve görüntülerin uygulama dışından aktarılmasına izin vermektedir.

**Edmodo:** Etkileşimli eğitsel sosyal ağ olan Edmodo, kullanım kolaylığı ile çok tercih edilen bir platformdur. Telefon, tablet ve bilgisayar kullanılarak öğretmenler tarafından sanal sınıflar oluşturularak öğrencilerin ödev, proje ve performanlarının takip edebileceği içerik yönetim sistemidir. Ücretsiz ve sınırsız depolama alanı sunmaktadır.

**Socrative:** Ücretli ve ücretsiz kullanımı olan Socrative, çevrimiçi sınav yapmak için geliştirilmiştir. Ölçme ve değerlendirme yapmaya uygun olan versiyonu bulunmaktadır. Türkçe dil desteği ile öğretmenlere ücretsiz bir şekilde sınav hazırlayıp öğrencilerin cevaplamasına imkân tanımaktadır.

### 3. Yapay Zekâ ve Akıllı Yazılımlar

Canlılar içerisinde en gelişmiş zekâya sahip olan insanların, zekâ özelliklerinin taklit edilmesinden (Çetin ve Aktaş, 2021) yola çıkılarak geliştirilen ve insansı teknoloji olarak tanımlanabilen yapay zekânın (Artificial Intelligence-AI) kullanım alanının çeşitliliği ve tarihsel gelişiminin çok eski yıllara dayanması sebebiyle birçok tanımı bulunmaktadır. Bu tanımlardan bazıları (Russell ve Norvig, 1995 aktaran Çetin ve Aktaş, 2021, s.4228) şunlardır:

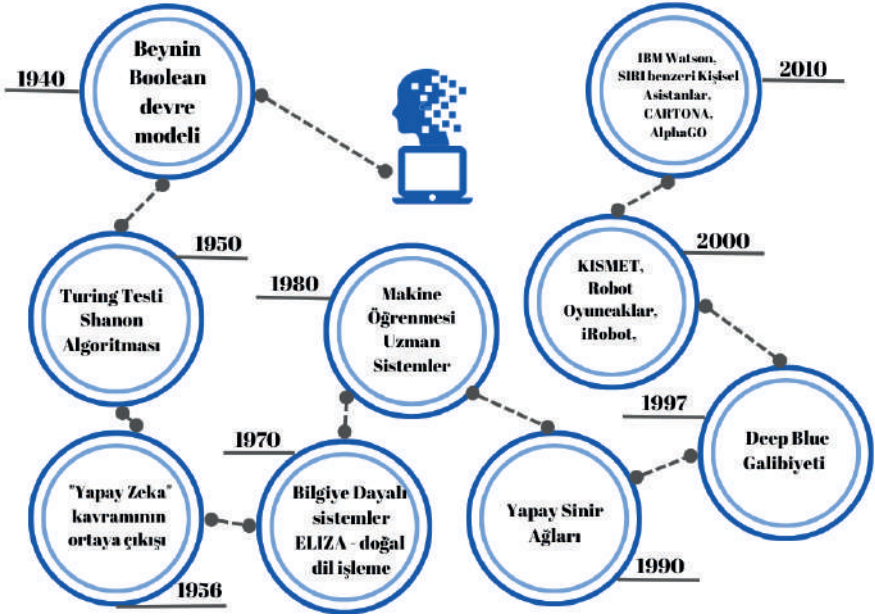
- İnsan düşüncesi ve davranışları ile bağlam kurarak sorun çözebilme, karar verebilme ve öğrenme gibi insansı faaliyetlerin gerçekleştirildiği otomasyon (Bellman, 1978).
- Bir insan gibi düşünebilen ve gerçek manada zihinleri olan makineler (Haugeland, 1985).
- Sayısal modellerin zihinsel becerileri ile birlikte kullanılması.

- Gerçekleştirilmesi için zekâ gerektiren işlevleri yapabilen makineler üretme sanatı (Kurzweil, 1990).
- Akıllı davranışları hesaplayabilen ve taklit edebilen çalışma alanı.
- Doğal zekânın benzer bir taklidini oluşturma kuramı (Nilsson, 1990).

Tanım çeşitliliği oldukça fazla olan yapay zekânın tarihsel gelişiminin temellerine bakıldığında, oldukça eski yıllara bakılıp çeşitli makine, program ve yazılımlar üzerine yapılmış çalışmaları olan Heron, El Cezeri, Wilhelm Schickard, Gottfried Leibniz, Ada Lovelace gibi isimlerle karşılaşmaktadır (Yılmaz, 2017). Ancak yapay zekânın ilk kıvılcımları için 1940'lı yıllara bakmak gerekmektedir (Arslankaya, 2020). McCulloch ve Pitts tarafından 1943 yılında geliştirilen “Beynin Devre Modeli” bu kıvılcıma bir örnektir. Geliştirdikleri bu model beyin nöronlarının nasıl çalıştığını sayısal olarak ifade eden bir teoriye dayanır ve beynin çalışmalarının formüllerle açıklanması sebebiyle yapay zekânın önemli bir basamağı olarak kabul görmektedir. Öte yandan Shannon (1948), algoritmalar kullanılarak matematik teoremlerinin ispatı ve satranç oyunu için bilgisayarların kullanılabileceğini iddia etmiştir. Bu iddiayı takiben Alan Turing (1950), kaleme aldığı makalesinde insanlar mevcut bilgileri kullanarak çözüme ulaşabiliyorsa makineler neden yapamazsın? sorusundan yola çıkarak daha sonralarda ismi “Turing Testi” olarak anılacak fikri ortaya atmıştır.

Bu gelişmelerin ardından McCarthy tarafından 1956 yılında ilk defa yapay zekâ kavramı kullanılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri 1960'larda bilgisayarları, insani temel işleri yapabilmesi için eğitmeye başlamıştır (Karabatak ve Alanoğlu, 2020). Doğal bilgisayar dili anlayışı olan SHRDLU 1968 yılında geliştirilmiştir. Avrupa'nın ilk yapay zekâ araştırma merkezi 1973 yılında kurulmuştur. Stanford, Cart adında bir robotu 1979 yılında yapmıştır. AARON isimli çizim programının 1985 yılında tanıtımı yapılmıştır. 1990 yıllar ve takibinde yapay zekâ her alana yayılım göstererek ilerlemesini artırmıştır. Makine öğrenmesinde yeni gelişmelerin tanıtılması, veri madenciliği, doğal dilin anlaşılması ve çevirisinin yapay zekâ tarafından yapılması, oyunlar ve sanal gerçekliğin gelişimleri bu ilerleme ve yayılım örneklerindedir (Alanoğlu ve Karabatak, 2020). 1997 yılında dünya satranç şampiyonunu Deep Blue Satranç Programı yemiştir. Fruby adında oyuncak 1998, Kısmet isimli mimik ve jest yapabilen robot 2000 yılında (Yılmaz, 2017), Roomba isimli ev robotu 2002 yılında üretilmiştir. Apple iPhone'da yeni özellik olarak konuşmayı algılayabilen ve tanıyan uygulamayı 2008 yılında çıkartmıştır. Şekil 1'de yapay zekânın tarihsel serüveni bulunmaktadır (Arslan, 2017).

Şekil 1.Yapay zekanın tarihsel serüveni



Görüldüğü üzere yapay zekânın gelişimi geçmişten bugüne artarak devam etmektedir. Bu gelişmeler daha önce de bahsedildiği gibi çok çeşitli uygulamalar ve yenilikler olarak karşımıza çıkmaktadır (Ayyıldız ve Yılmaz, 2021). Bu uygulama ve gelişme örnekleri oldukça fazla olup yapay zekânın günümüzde her alanda kullanılabilmesi için birçok ülke ve sektörde çalışmalar devam etmektedir. Bunun yanı sıra yapay zekânın işlevlerinin çeşitlenmesi için akıllı yazılımlar geliştirilmektedir. Akıllı yazılımlar bilgisayarlara akıllı ve öğrenmeyi kazandıran yazılımlar olup bunu yaparken yapay zekâ teknolojilerini kullanmaktadır. Akıllı yazılımlar doğal dil işleme, makine öğrenimi, karmaşık veri analizi gibi teknikleri kullanarak görevlerini gerçekleştirmektedirler. Akıllı yazılımların öğrenmeleri ve karar verme yetenekleri büyük verilere dayalı olarak gelişmektedir. Bu yazılımlar sahip oldukları veri analizi ve örüntü tanıma teknikleriyle yeni bilgileri öğrenebilir, daha sonra bu bilgileri karar verirken kullanabilirler. Sistemli ve sürekli bir şekilde veri toplama, analiz etme gibi özellikleri olduğu için zamanla daha iyi hale gelip kullanan kişinin kullanım amacına uygun hale gelerek verimliliğini arttırabilmektedir. Akıllı yazılımlar işlerin otomatikleşmesinde, karmaşık görevlerin kolayca çözümlenmesine imkân sunmaktadır. Aynı zamanda yazılı ve sözlü olarak dili algılayıp sorulan sorulara cevap verebilirken gördüğü nesnelere algılayıp yüzleri tanıyabilmektedirler. Yapay zekâ ve akıllı yazılımlar birbirlerini tamamladıkları için kullanım alanları da benzerlik göstermektedir.



#### 4. Yapay Zekâ ve Akıllı Yazılımların Kullanım Alanları

Teknolojinin sadece araç-gereçlerin değişiminden ibaret olmadığı günümüz dünyasında yapay zekâ ve akıllı yazılımların kullanımı her geçen gün artarak devam etmektedir (Özgeldi, 2019). Yapay zekâ tekniklerinin ve akıllı yazılımların çeşitleri arttıkça kullanılan alanlar ve sektörler de artarken yapay zekâ ve akıllı yazılımlar hayatımızda yerini daha hızlı almaktadır. Öyle ki yapay zekâ ve akıllı yazılımlar sağlık, hukuk, eğlence, turizm, finans, bankacılık, güvenlik, mühendislik, eğitim, sosyokültürel faaliyetler, üretim ve depolamaya kadar birçok sektör ve faaliyette kullanılmaktadır (Komalavalli, Hemalatha ve Dhanalakshimi, 2020, s.90-91).

Devletlerden küçük işletmelere, özel sektörün her alanında, günlük hayatımızda kullandığımız uygulamalardan, ev aletlerine kadar yayılmış olan yapay zekâ, her kullanan için farklı anlam ifade etmektedir. Devletler kurum ve kuruluşlarının iyileştirilmesinde, güvenlik, bilgi ve veri akışlarını sağlamada kullanırken; sosyal medya platformları kullanıcılarının sosyalleşme ve haberleşmesin de kullanılmaktadır (Aydın, 2019). Literatür incelendiğinde farklı alanlarda yapay zekâ ve akıllı yazılımların kullanımının ne kadar fazla olduğu daha net anlaşılmaktadır (Arslankaya ve Çelik, 2021; Güleriyüz, 2022; Teke, Akkurt, Arslankaya, Ekmekçi ve Günoğlu, 2023). Örneğin; Otomotiv sektöründe araçların geliştirilmesinde, sistemsel yeniliklerin güvenli bir şekilde test edilmesi gibi çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır. Sağlık alanında hastalıkların teşhisine yardımcı olarak görüntüleme cihazlarında ve tedavi sürecinin planlanmasında yardımcı olmaktadır. Finans sektöründe kararların hızlı alınması, güvenlik sorunlarının tespit edilmesi ve önlenmesi, müşteri iletişimleri gibi birçok amaçla kullanılmaktadır. Güvenlik alanında şüpheli davranışları tespit ederek korumayı güçlendirme, yüz tanıma sistemleri gibi konularda kullanılmaktadır. Üretimde hızı ve verimliliği arttırdığı gibi kaliteli üretimde de yapay zekâdan destek alınmaktadır. Eğitim alanında öğrenene her yerde eğitim stratejisiyle çevrimiçi olarak ders dinleme, kişiye özel ders planları, öğretmenlere materyal geliştirmede ve sınıf içi sınıf dışı ortamlarda ders işlemede yardımcı, öğrencilerin performanslarını takip etmede ve değerlendirmede adil, pratik çözümler sunmada kullanılmaktadır. Verilen örnekler kullanım alanlarından sadece küçük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu örnekler çoğaltılabileceği gibi uygulama örnekleri de verilebilir. Örnek uygulamalardan bazıları şunlardır:

- **Facebook News Feed:** Kullanıcılara kişiselleştirilmiş haber ve içerik akışı sunan sosyal medya platformudur.

- **Google Photos:** Fotoğraf ve video depolama hizmeti ve görüntü tanıma teknolojisidir.
- **Microsoft Office 365:** Ofis üretkenlik uygulamaları için yapay zekâ destekli özellikler sunan bulut tabanlı platformudur.
- **Salesforce Einstein:** Müşteri ilişkileri yönetimi ve satış otomasyonu için yapay zekâ tabanlı çözümler sunmaktadır.
- **Adobe Sense:** Yapay zekâ ve makine öğrenimi teknolojilerini içeren Adobe Creative Cloud uygulamaları için özellikler bulunan yazılımdır.
- **Uber:** Yolculuk hizmetleri için akıllı yolcu eşleştirme ve rota optimizasyonu sağlar.
- **Waze:** Trafik ve navigasyon uygulamasıdır.
- **Pinterest:** Görsel keşif ve öneri platformudur.
- **Grammarly:** Yazım ve dilbilgisi hatalarını düzeltme ve metinlerde iyileştirmeler yapma hizmetidir.
- **Zocdoc:** Online randevu sistemi ve doktor öneri platformudur.
- **Cogito:** Müşteri hizmetlerinde duygusal analiz ve performans destek çözümleri sunmaktadır.
- **Nuance Dragon:** Konuşma tanıma ve metin dönüştürme yazılımıdır.
- **Deepfake Detection Tools:** Yapay zekâ tabanlı deepfake videolarını tespit etme ve analiz etme araçlarıdır.
- **Brina:** Sesli komutları algılayan ve yanıtlayan kişisel asistan yazılımıdır.
- **TensorFlow:** Google tarafından geliştirilen açık kaynaklı makine öğrenimi ve derin öğrenme kütüphanesidir.
- **Siri-Google Asistan-Amazon Alexa:** Apple, Google ve Amazon şirketleri tarafından geliştirilen sesli asistanlardır.
- **Netflix:** Kişiselleştirilmiş içerik önerileri sunan video yayın platformudur.
- **Spotify:** Kişiselleştirilmiş müzik önerileri sunan müzik streaming platformudur.

- **Amazon Önerileri:** Amazon tarafından sunulan kişiselleştirilmiş ürün önerileri sunan yazılımdır.
- **Tesla:** Otonom araç teknolojileri geliştiren şirkettir.
- **Google Translate:** Metin ve konuşma çeviri hizmetidir.
- **IBM Watson:** Çeşitli sektörlerde yapay zekâ ve veri analitiği çözümleri sağlayan platformdur.
- **OpenAI ChatGPT-4:** Yapay zekâ tabanlı doğal dil işleme ve metin üretme modelidir.
- **Microsoft Azure Cognitive Services:** Yapay zekâ ve makine öğrenimi hizmetleri sunan platformdur.
- **IBM Watson Health:** Sağlık sektöründe yapay zekâ tabanlı teşhis ve tedavi destek sistemleridir.
- **Palantir:** İstihbarat analizi ve veri entegrasyonu platformudur.

Elbette uygulamalar verilen örneklerle sınırlı değildir. Sektörlere ve kullanım alanlarına göre çeşitlilik gösteren yapay zekâ uygulamaları ve akıllı yazılımlar, yayılım sahalarını genişletmişken eğitim alanının bundan etkilenmemesi pek mümkün değildir. Nitekim teknolojik gelişmeler eğitimin paydaşlarını etkilemiş gerekli değişimler adımlar atılmıştır. Bu adımlardan *Fen Bilimleri Eğitiminde Teknolojik Gelişmeler* başlığı altında bahsedilmiştir.

## 5. Fen Bilimleri Eğitiminde Yapay Zekâ ve Akıllı Yazılımlar

Yapay zekâ ve akıllı yazılımların yayılım alanlarının artış gösterdiği günümüz dünyasında eğitim derinden etkilenmiş (Popenici ve Kerr, 2017) ve yapay zekâ uygulamalarına bu alanda daha çok yer verilmiştir (Verma, 2018). Yapay zekâ ve akıllı yazılımlar gibi teknolojik gelişmeler gelişmiş ülkelerin yakından takip ettiği, ürettiği ve ülkelerinde yaygınlaştırdığı sistemlerdir. Yapay zekâ alanında önemli çalışmalara imza atan Amerika ve Çin gibi ülkeler bu gelişmelerin kullanılması ve iyileştirilmesine yönelik olarak eğitim sistemlerini yenilemişlerdir (Knox, 2020). Dolayısıyla gelecekte her yönüyle gelişmiş ülkeler kategorisinde olmak isteyen ülkelerin de yapay zekâ ve akıllı yazılımlar gibi teknolojilere önem vermesi gerekmektedir. Bilimsel ve teknolojik gelişmelerin ülkemizde eğitimin hemen hemen her kademesindeki ayağı fen bilimleri eğitimidir (Ayyıldız, Yılmaz ve Baltacı, 2021; Yılmaz, Gülgün, Çetinkaya ve Doğanay, 2018). Ülkemizde fen bilimleri eğitimi öğretim programı incelendiğinde teknoloji vurgusu görülmektedir. Fen bilimleri eğitiminin teknoloji ile ilişkisine öğretim programı sadece bir örnektir. Bu örnek dışında fen bilimleri eğitiminde materyallerin tasarlanmasında ve uygulanmasında,

öğrencilerin kavram yanlışlarının önlenmesinde ya da azaltılmasında, zihin ve kavram haritalarının oluşturulmasında, öğretmenlerin kolaylıkla öğrencilerin performanslarını, ödevlerini takip etmelerinde teknolojik bir gelişme olan yapay zekâ ve akıllı yazılımlar kullanılmaktadır. Yapay zekâ ve akıllı yazılımlarının fen bilimleri eğitiminde kullanım alanları örnekleri aşağıda yer almaktadır.

1. **Sanal Laboratuvarlar:** Sanal laboratuvarlar, öğrencilere deney yapma ve sonuçları analiz etme imkânı sunmaktadır. Bu yazılımlar, gerçek laboratuvar ortamını simüle ederek deneylerin yapılmasını ve sonuçların gözlemlenmesini sağlamaktadır (Aydoğdu, Duban ve Özdiñç, 2019).
2. **Akıllı Öğretim Sistemleri:** Öğrencilerin bireysel öğrenme ihtiyaçlarını belirleyerek kişiselleştirilmiş eğitim hizmeti sunmaktadır. Öğrencilerin performansını izleme, zayıf noktalarını tespit etme ve öğrenme süreçlerini buna göre ayarlama gibi işlevleri vardır (Alkhatlan ve Kalita, 2018).
3. **Konuşma Tanıma ve Dil İşleme:** Konuşma tanıma ve dil işleme teknolojileriyle öğrencilerin konuşmalarını ve sorularını anlayabilmektedir. Öğrencilere fen bilimleriyle ilgili soruları sormak ve cevaplarını kontrol etmek için kullanılmaktadır.
4. **Sanal Gerçeklik (*Virtual Reality-VR*) ve Artırılmış Gerçeklik (*Augmented Reality -AR*):** Sanal gerçeklik bütünüyle sanal senaryolar üzerine kuruluyken (Helsel, 1992) artırılmış gerçeklik teknolojileri gerçek dünyadaki nesnelerin zenginleştirilmiş halini sanal ortamda sunmaktadır (Hincapie, Diaz, Valencia, Contero ve Güemes-Castorena, 2021). Öğrencilere etkileşimli, görsel deneyimler ve fen konularını canlı bir şekilde keşfedebilme ve deneyimleyebilme imkânları sunmaktadır.
5. **Öğrenme Analitiği:** Öğrenme analitiği yöntemleriyle öğrencilerin ilerlemesini izlenebilir ve analiz edebilir hale getirmektedir. Bu veriler, öğrencilerin öğrenme zorluklarını belirlemek ve öğretmenlere geri bildirim sağlamak için kullanılabilir.
6. **Soru ve Cevap Sistemleri:** Öğrencilere fen bilimleriyle ilgili sorular sormak ve doğru cevapları almak için kullanılmaktadır. Bu sistemler genellikle doğal dil işleme ve makine öğrenmesi tekniklerini kullanarak çalışmaktadır.

7. **Kavram Haritaları:** Kavram haritaları oluşturarak fen konularındaki ilişkileri ve bağlantıları görselleştirip öğrencilere karmaşık konuları anlamalarına yardımcı olmak için kullanılmaktadır.
8. **Öneri Sistemleri:** Öğrencilere ilgi ve yeteneklerine uygun fen bilimleri kaynaklarını önermek için kullanılabilir. Öğrencilerin bireysel öğrenme yolculuklarında rehberlik edip onlara ilgilerini çekebilecek materyaller sunabilmektedir.
9. **Veri Analizi ve Keşif:** Yapay zekâ, fen bilimleri ile ilgili büyük veri setlerinin analiz edilmesinde ve desenleri, ilişkileri veya keşifleri belirleyebilmede kullanılabilir. Bu, araştırmacılara ve öğretmenlere fen bilimleri alanındaki yeni bulguları keşfetmelerinde yardımcı olabilmektedir.
10. **Görsel Tanıma:** Fen bilimleri ile ilgili görselleri tanıyabilir ve sınıflandırabilir. Örneğin, bitki veya hayvan türlerini tanımlamak için görüntü tanıma algoritmaları kullanılabilir.
11. **Öğrenci Sıralama ve Gruplandırma:** Öğrencilerin başarılarını analiz ederek sıralama ve gruplandırmalar yapılabilir. Bu, öğretmenlere öğrenci performansını daha iyi anlamaları ve kişiselleştirilmiş öğretim stratejileri geliştirmeleri için yardımcı olabilmektedir.
12. **Otomatik Öğretim Materyali Üretimi:** Fen bilimleri ile ilgili otomatik olarak öğretim materyali üretebilir. Öğrencilerin seviyelerine ve ihtiyaçlarına uygun içerikleri oluşturarak öğretim süreci desteklenebilmektedir.
13. **Öğrenme Oyunları:** Yapay zekâ destekli öğrenme oyunları, fen bilimleri eğitiminde etkileşimli ve eğlenceli bir deneyim sunmaktadır. Öğrenciler, oyunlar aracılığıyla fen kavramlarını keşfedebilir, problem çözme becerilerini geliştirebilir ve bilgiyi uygulayabilir.
14. **Öğrenci Geri Bildirimi:** Öğrencilere anında geri bildirim sağlayabilen yapay zekâ ve akıllı yazılımlar ile öğrencilerin yanıtları değerlendirilir ve hatalarını veya eksikliklerini gösterir, böylece öğrenciler hatalarından ders alabilir ve gelişebilirler.
15. **Öğrenci Mentörlüğü:** Öğrencilere bireysel olarak rehberlik edebilir ve fen bilimleri ile ilgili konularda yardımcı olabilmektedirler. Öğrencilere soruları yanıtlamak, bilgi sağlamak ve rehberlik etmek için doğal dil işleme ve yapay zekâ tekniklerini kullanabilmektedir.

## 6. Yapay Zekâ Kullanımına Yönelik Tehditler ve Fırsatlar

Bu bölümde yapay zekâ ve akıllı yazılımların her alana yayılması ile ortaya çıkabilecek tehditler ve kullanımının fırsatları ele alınmıştır. İlk olarak tehditler ele alınmıştır. Karşılaşılabilecek tehditlerden bazıları şunlardır:

- Erişilen verilerin kimler tarafından ne amaçlarla kullanılacağına bilinmemesi ihtimali (Oliveira, Lopes, Soares, Pinheiro ve Guimaraes, 2020).
- Kontrolsüz kullanımı ve insanların işsizliğine sebep olması.
- Sistemlerin siber saldırıya uğrayarak toplanan verilerin tamamen silinmesi.
- Öğrenen ve öğreten arasında iletişim engellerine sebep olması.
- Öğrenende motivasyon eksikliklerine sebep olabileceği ihtimali.
- Mesleki yeterliliklerdeki beklentinin artması.
- İnsan ilişkilerinin zayıflamasına sebep olabileceği gibi tehditler bulunmaktadır.

İkinci olarak fırsatlar ele alınmıştır. Yapay zekâ uygulamalarının beraberinde getirdiği bu tehditlerin yanı sıra birçok fırsatlarda bulunmaktadır. Bu fırsatlar şu şekilde ifade edilebilmektedir:

- Öğrenci tespiti ve takibinde kolaylık,
- Okulun güvenliğinin sağlanması,
- Nesnel değerlendirmelerin yapılabilmesi,
- Öğrencilerin özel bilgilerinin korunması,
- Öğrenmelerin uzaktan, çevrimiçi bir şekilde gerçekleşerek verimli ve erişilebilir olması,
- Öğretmenlere sınıf yönetiminde kolaylık sağlanması,
- Kolay bir şekilde ekonomik, ses, görüntü materyalleri oluşturulabilmesi,
- Anında dönüt imkânı sağlanması,
- Zayıf veya eksik bilgi ve yönleri konusunda öğrenene ve öğretene farkındalık kazandırabilme,
- Ekonomik yetersizliğin yarattığı eğitime erişim kısıtlılığının azaltılması,

- Soyut olan kavramların, konuların evde veya okulda kolay bir şekilde öğretilmesi gibi çok çeşitli fırsatlar sunmaktadır.

### **Sonuç**

Bu çalışmada, fen bilimleri eğitiminde dijital uygulamalar, yapay zekâ ve akıllı yazılımlar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. İnsan zekâsını taklit edebilmek için ortaya çıkarılan bilgisayar sistemleri olarak tanımlanabilen yapay zekâ ve akıllı yazılımlar günümüzde birçok alanda faaliyetini sürdürdüğünden ilerleyen yıllarda daha da fazla öneme sahip olacaktır (Akdeniz ve Özdiç, 2021). Bu alanda çalışmaların ve yatırımların artarak devam edeceği, kullanım alanlarının artacağı ve geniş kitlelere yayılacağı hiç şüphesiz beklenen bir sonuçtur. Sağladığı fırsatlar ve getirdiği tehditleriyle birlikte çift yönlü olan bu teknolojik yeniliklerin, amacına uygun bir şekilde kullanılmasıyla ve gerekli iyileştirmelerin yapılmasıyla olası tehditlerin önlenebileceği düşünülmektedir. Tehditlerin önlenbilmesinin bir diğer yolunun da kullanıcıların bilgilendirilmesinden geçtiği ve farkındalığın artırılmasının zorunlu olduğu gerçeğidir. Fen bilimleri eğitiminde kavram yanlışlarının önlenmesi ve zor konuların öğreniminde yapay zekâ ve akıllı yazılımların kullanılmasının artması öğrenene ve öğretene daha da fazla kolaylık sağlayacaktır. Bu kolaylığın öğrenci motivasyonunu pozitif yönde etkilemesi ve öğrenci performanslarının öğreticiler tarafında takibinin yapılması olası tehditlerin önlenmesinde bir diğer önemli nokta olarak görülmektedir.

## Kaynakça

- Akçay, H.T. (2003). Bilgisayar destekli fen bilgisi öğretiminin öğrenci başarısına ve tutumuna etkisine bir örnek: Mol kavramı ve Avogadro sayısı. *The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 2(2), 22-34.
- Akdeniz, M., & Özdiç, F. (2021). Eğitimde yapay zekâ konusunda Türkiye adresli çalışmaların incelenmesi. *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 18(1), 912-932.
- Akgün, F. (2013). Öğretmen adaylarının web pedagojik içerik bilgileri ve öğretmen öz yeterlilik algıları ile ilişkileri. *Trakya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 3(1), 38-48.
- Alkhatlan, A., & Kalita, J. (2018). Intelligent tutoring systems: A comprehensive historical survey with recent developments. *arXiv preprint arXiv:1812.09628*.
- Arslan, K. (2017). Eğitimde yapay zekâ ve uygulamaları. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 11(1), 71-88.
- Arslankaya, S. (2020). Estimation of hanging and removal times in eloxal with artificial neural networks. *Emerging Materials Research*, 9(2), 366-374. <https://doi.org/10.1680/jemmr.19.00191>
- Arslankaya, S., & Çelik, M.T. (2021). Prediction of heart attack using Fuzzy Logic Method and determination of factors affecting heart attacks. *International Journal of Computational and Experimental Science and Engineering*, 7(1), 1-8.
- Aslan Efe, H.O. (2011). Fotosentez ünitesinin bilgisayar simülasyonlarıyla desteklenen işbirlikli öğretim yöntemiyle öğretiminin öğrenci erişimi ve biyoloji dersine yönelik tutuma etkisi. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi (EFMED)*, 5(1), 313-329.
- Aydın, A. (2019). Devlet erkinin yönetim paradigmasının yapay zekâ bağlamında dönüşümü. G. Telli (Ed.), *Yapay zekâ ve gelecek* içinde (ss.65-87). İstanbul: Doğu Kitapevi.
- Aydoğdu, B., Duban, N., & Özdiç, F. (2019) Fen öğretiminde gerçek ve sanal laboratuvarların kullanımı. A. Günay Balım (Edt.). *Fen öğretiminde yenilikçi yaklaşımlar* içinde (ss.307-321). Ankara: Anı Yayıncılık.
- Ayyıldız, P., & Yılmaz, A. (2021). Putting things in perspective: The COVID-19 pandemic period, distance education and beyond. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(6), 1631-1650. <https://doi.org/10.18506/anemon.946037>
- Ayyıldız, P., Yılmaz, A., & Baltacı, H.S. (2021). Exploring digital literacy levels and technology integration competence of Turkish academics. *International Journal of Educational Methodology*, 7(1), 15-31. <https://doi.org/10.12973/ijem.7.1.15>



- Batdı, V., Aslan, A., & Zhu, C. (2018). The effect of technology supported teaching on students academic achievement: A combined meta-analytic and thematic study. *International Journal of Learning Technology*, 13(1), 44-60. <https://doi.org/10.1504/IJLT.2018.091632>
- Bellman, R.E. (1978). *An introduction to artificial intelligence: Can computers think?* Boyd & Fraser Publishing Company.
- Çakır, H. (1999). Bilgisayar destekli eğitimde grafik ve animasyon tekniklerinin kullanılması. Doktora Tezi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü*. Ankara.
- Çeçen, G. (2020). Tertiary level efl students' perceptions regarding the use of edmodo, quizlet, and canva within technology acceptance model. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. *İhsan Doğramacı Bilkent Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü*. Ankara.
- Çelik, H., & Karamustafaoglu, O. (2016). Science prospective teachers' self-efficacy and views on the use of information technologies in the teaching of physics concepts. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi (EFMED)*, 10(1), 182-208.
- Çeliköz, N., & Kol, S. (2016). Bilgisayar destekli öğretimin (BDÖ) altı yaş çocuklarına zaman ve mekân kavramlarını kazandırmaya etkisi. *Kastamonu Eğitim Dergisi*, 24(4), 1803-1820.
- Çetin, M., & Aktaş, A. (2021). Yapay zekâ ve eğitimde gelecek senaryoları. *OPUS-Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 18(Eğitim Bilimleri Özel Sayısı), 4225-4268. <https://doi.org/10.26466/opus.911444>
- Daşdemir, İ., & Doymuş, K. (2012). Fen ve teknoloji dersinde animasyon kullanımının öğrencilerin akademik başarılarına, öğrenilen bilgilerin kalıcılığına ve bilimsel süreç becerilerine etkisine. *Pegem Eğitim ve Öğretim Dergisi*, 2(3), 33-42.
- Gökulu, E. (2013). Bilgisayar destekli öğretimin etkisinin incelenmesi ve madenin tanecikli yapıya konusu ile ilgili öğrencilerin kavram yanlışlarının tespiti. *International Journal of Social Science*, 6(5), 571-585.
- Güleryüz, D. (2022). Estimation of soil temperatures with machine learning algorithms-Giresun and Bayburt stations in Turkey. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(1), 109-125. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03819-2>
- Günbatır, M.S. (2020). Computational thinking skills, programming self-efficacies and programming attitudes of the students. *International Journal of Computer Science Education in Schools*, 4(2), 24-35. <https://doi.org/10.21585/ijcses.v4i2.96>
- Güven, G.V., & Sülün, Y. (2012). Bilgisayar destekli öğretimin 8. sınıf fen ve teknoloji dersindeki akademik başarıya ve öğrencilerin derse karşı tutumlarına etkisi. *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, 9(1), 68-79.

- Haugeland, J. (Ed.). (1985). *Artificial Intelligence: The Very Idea*. MIT Press.
- Helsel, S. (1992). Virtual reality and Education. *Educational Technology*, 32(5), 38-42.
- Hincapie, M., Diaz, C., Valencia, A., Contero, M., & Güemes-Castorena, D. (2021). Educational applications of augmented reality: A bibliometric study. *Computers & Electrical Engineering*, 93, 107289.
- Karabatak, S., & Alanoğlu, M. (2020). İş yerinde siber zorbalık davranışları envanteri: Eğitim örgütleri için uyarılama çalışması. *Eğitim ve İnsani Bilimler Dergisi: Teori ve Uygulama*, 11(22), 257-276.
- Knox, J. (2020). Artificial intelligence and education in China. *Learning, Media and Technology*, 45(3), 298-311. <https://doi.org/10.1080/17439884.2020.1754236>
- Komalavalli, K., Hemalatha, R., & Dhanalakshmi, S. (2020). A survey of artificial intelligence in smart phones and its applications among the students of higher education in and around Chennai City. *Shanlax International Journal of Education*, 8(3), 89-95. <https://doi.org/10.34293/education.v8i3.2379>
- Kurzweil, R. (1990). *The age of intelligent machines*. MIT Press.
- Kutluca, T., & Ekici, G. (2010). Öğretmen adaylarının bilgisayara destekli eğitime ilişkin tutum ve öz-yeterlilik algılarının incelenmesi. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 38, 177-188.
- Loveless, A., & Ellis, V. (2002). Information and communication technologies, pedagogy and the curriculum. *Education and Information Technologies*, 7(1), 81-83.
- Marulcu, I., Saylan, A., & Güven, E. (2014). 6 ve 7. sınıf öğrenciler için gerçekleştirilen "küçük bilginler bilim okulu'nun değerlendirilmesi. *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü*.
- Milli Eğitim Bakanlığı (MEB, 2018). *Fen Bilimleri Dersi Öğretim Programı (İlkokul ve Ortaokul 3,4,5,6,7 ve 8. Sınıflar)*. Milli Eğitim Bakanlığı Talim ve Terbiye Kurulu Başkanlığı, Ankara.
- Nilsson, N. (1990). *The mathematical foundations of learning machines*. Morgan Kaufmann.
- Oliveira, M., Lopes, C., Soares, E., Pinheiro, G., & Guimaraes, P. (2020). What can we expect from the future? The impact of artificial intelligence on society. 15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI), 1-6. <https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140903>
- Özdemir, M., & Yıldız, R. (2016). Farklı öğrenme stillerine sahip öğrencilerin çevrimiçi öğrenme nesnelere yönelik tercihleri. *Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama*, 6(2), 19-45.

- Özgeldi, M. (2019). Yapay zekâ ve insan kaynakları. G. Telli (Ed.), *Yapay zekâ ve gelecek içinde* (ss.198-222). İstanbul: Doğu Kitapevi.
- Popenici, S.A.D., & Kerr, S. (2017). Exploring the impact of artificial intelligence on teaching and learning in higher education. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(22), 1-13.
- Russell, S.J., & Norvig, P. (1995). *Artificial intelligence: A modern approach*. Prentice Hall.
- Sebetci, O., & Aksu, G. (2014). Öğrencilerin mantıksal ve analitik düşünme becerilerinin programlama dilleri başarısına etkisi. *Eğitim Bilimler ve Uygulama*, 13(25), 65-83.
- Shannon, C.E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379-423. <https://doi.org/10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x>
- Şenel Çoruhlu, T., Er Nas, S., & Keleş, E. (2016). Beyin temelli öğrenme yaklaşımına dayalı web destekli öğretim materyalinin etkililiğinin değerlendirilmesi: Işık ve ses ünitesi. *Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 5(1), 104-132.
- Taş, E. (2017). Teknoloji destekli fen bilimleri öğretimi ve materyal tasarımı. Ö. Taşkın (Ed.), *Fen eğitiminde güncel konular içinde* (ss.279-293). Ankara: Pegem Akademi.
- Taş, E., & Çepni, S. (2011). Web tasarımı bir fen ve teknoloji materyalinin geliştirmesi ve değerlendirilmesi. *Uludağ Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24(1), 93-115.
- Taşkın Ekici, F., & Ekici, E. (2021). Web 2.0 araçları. *Fen ve matematik eğitiminde kullanılan web2.0 araçları içinde* (ss.17-90). Ankara: Eğiten Kitap Yayıncılık.
- Teke, C., Akkurt, I., Arslankaya, S., Ekmekci, I., & Günoglu, K. (2023). Prediction of gamma ray spectrum for 22Na source by feed forward back propagation ANN model. *Radiation Physics and Chemistry*, 202, 110558. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2022.110558>
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 49(236), 433-460.
- Verma, M. (2018). Artificial intelligence and its scope in different areas with special reference to the field of education. *International Journal of Advanced Educational Research*, 3(1), 5-10.
- Yıldız, B., Ilgaz, H., & Seferoğlu, S.S. (2010). *Türkiye’de bilim ve teknoloji politikaları: 1963’ten 2013’e kalkınma planlama genel bir bakış*. Muğla Üniversitesi.
- Yılmaz, A. (2017). Yapay zekâ nedir? *Yapay zekâ içinde* (ss.1-20). İstanbul: Kollab Yayıncılık.

- Yılmaz, A. (2021a). The effect of technology integration in education on prospective teachers' critical and creative thinking, multidimensional 21st century skills and academic achievements. *Participatory Educational Research*, 8(2), 163-199. <https://doi.org/10.17275/per.21.35.8.2>
- Yılmaz, A. (2021b). Fen bilimleri eğitimi kapsamında uzaktan eğitimde kalite standartları ve paydaş görüşleri. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, 42, 26-50. <https://doi.org/10.33418/ataunikkefd.850063>
- Yılmaz, A., Gülgün, C., Çetinkaya, M., & Doğanay, K. (2018). Initiatives and new trends towards STEM education in Turkey. *Journal of Education and Training Studies*, 6(11a), 1-10.



# Mimikri Davranışı; Örümceklerde Yaşam Kurtaran Mimikri Örnekleri

Adile Akpınar<sup>1</sup>

## Özet

Mimikri kelimesi kısa bir tanımla taklit etmek anlamına gelmektedir. Hayvanlar doğal ortamlarında, avcılarında korunmak, neslini devam ettirebilmek adına çiftleşmek için veya yaşamını devam ettirebilmek için bir türün diğer bir türe benzemesi şeklinde taklit yapma gereği duyarlar. Taklit için türler, davranışlarında, fiziksel görünümünde, seslerinde bazı değişiklikler yapabilmektedirler. Örümcekler mimikri davranışını en iyi gerçekleştiren hayvanlardan biridir. Örümcekler farklı taklit mekanizmaları ile hayatta kalma ve avlanma şanslarını arttırmırlar.

## Giriş

Canlılar doğal ortamlarındaki yaşamlarında standart mimikri davranışı sergilememekte ve mimikri tek başına bir anlam ifade etmemektedir. Mimikri davranışını bir organizmanın davranışının, tüm ekosistem içindeki formu, üretim yöntemi, süreç stratejileri ve yaptığı fonksiyon bakımından taklidi olarak tanımlanmalıdır (Pederson, 2007). Canlı bireyin tek başına yaptığı taklidin sadece o canlıya mal edilmeyeceği aynı zamanda ekolojik faktörler ile de ilişkili olduğu düşünülmelidir. Bu bağlamda doğadaki her birey tek tek ele alınsa farklı taklit mekanizmaları dikkat çeker. Bu taklit mekanizmaları tüm canlılar (bitkiler, hayvanlar, mantarlar vs.) temelinde ayrı ayrı özelliklere sahiptir.

Hayvanlarda mimikri mekanizmaları temel alındığında genel olarak 3'e ayrılır (Yiğit N; 2019);

1. Batesian; zehirsiz türlerin zehirli türün renklerini taklit etmesi

---

1 Doç. Dr. Gaziantep Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji bölümü, 27310, Gaziantep  
aozdemir@gantep.edu.tr Orcid: 0000-0001-5815-1096

2. Müllerialian; zehirli türlerin kendi predatörlerinin baskısından kurtulmak benzer renklerde olması
3. Mertensiyen (Emsleyan): daha az ölümcül türün renklerini taklit etme, predatörün zehirden ölmeyip zehirli renkleri öğrenmesini sağlamayı amaçlayan mimikri.

Doğada sadece av avcı ilişkisine bağlı olmayan farklı özelliklerde de mimikri türleride yer almaktadır. Farklı canlı grupları yaşam koşullarına, avlanma stratejilerine, av olma durumlarına göre davranışsal veya fizyolojik mimikri gösterebilirler.

### **Örümceklerde mimikri**

Örümcekler, dünya genelinde Antarktika kıtası hariç hemen her türlü ekosistem ve habitat da yaşayabilen sekiz bacaklı omurgasızlardır (Levy, 1998b, Nyffeler and Pusey, 2014). Tarımsal alanlarda etkili predatördürler ve biyolojik kontrol ajanı olarak doğal dengenin korunmasında etkin rol oynarlar. Örümcekler doğal yaşam alanlarında ağları, zehirli olup-olmamları ve genel görünüşleri ile dikkat çekmektedirler. Dünyada tanımı yapılmış 50 binin üzerinde türü bulunmaktadır (World spider katalog, 2023).

Örümcekler standart bir vücut yapısına sahip olup, tamamında vücut iki kısımdan oluşur. Birinci kısım baş ile göğüs bölgesinin birleşmesinden meydana gelen Prosoma-cephalotorax (Başlıgöğüs) ve ikinci kısım abdomen-opisthosoma (karın) olarak adlandırılır. Bu iki kısım kum saati görünümünde olacak şekilde birbirlerine pedisel adı verilen güçlü bir yapı ile bağlantılıdır. Genel görünümünde çok farklı renk ve desenlere sahiptirler. Ayrıca çoğu familyada eşeyssel dimorfizm de dikkat çekmektedir.

Sekiz bacaklı olan bu hayvanlar karnivorlardır ve besinlerinin büyük çoğunluğunu böcekler oluşturur, böceklerin yanı sıra diğer arthropodlar da besinlerini oluşturur (Wagan et. al., 2019). Örümcekler doğada pek çok canlının da avı olabilmektedir. Bu nedenle kendi yapılarına uygun taklit mekanizmaları gerçekleştirirler.

Dünya genelinde bilinen 300 den fazla örümcek türünün karıncaların, sosyal davranış biçimlerini, morfolojik özelliklerini ve yırtıcılık davranışlarını taklit etmektedir. Özellikle sıçrayıcı örümcekler olarak bilinen ve geniş tür çeşitliliğine sahip olan Salticidae familyasına ait 14 cinsin karıncaları taklit ettiği bilinir. Myrmarachne ait örnekler, karıncaların davranışsal ve morfolojik özelliklerini kendileri gibi taklit etmektedirler. Yani Batesian mimikrisi adı verilen zehirli veya zehirsiz türlerin renk bakımından taklidi olup, bu cinse ait örümceklerin, karıncaların zig-zag hareket modelini ilham alarak birin-

ci, ikinci bacak çiftlerini havada sallama hareketi ile anten yanılması benzeri hareketini gerçekleştirir. Bu durum örümceklerin pedisel yapısıyla incelmış olan vücutlarını hızlı hareket ettirmelerine ve avcılarında kaçmaya olanak sağlamış olur (Huang vd, 2011; Cusher, 1997; Cutler, 1991).



*Myrmarachne sp.* (Salticidae)

Karıncı

Bazı peygamber devesi türlerinin ((*Loxomantis sp.*, *Orthodera sp.*, and *Statilia sp.*) karıncaları besin olarak tüketmedikleri ve onlardan uzaklaştıkları hatta karıncaları kendilerine tehdit gördükleri belirlenmiştir. Buna bağlı olarak karınca benzeri görüntüye sahip olan örümceklerden de kaçtıkları gözlenmiştir (Nelsonvd, 2006).



*Stalitia sp.* (Peygamber devesi)

*Myrmarachne sp.* (Salticidae)

Örümcekler içerisinde sıçrayıcı örümcekler (Salticidae; *Myrmarachne melanotarsa*) gibi Zodariidae türleride karıncaları avlamak için karınca benzeri görünmektedirler. Karıncalar gibi aralarında gezinirler ve avlamaktadırlar. Normal koşullar altında karıncalar ile beslenen hayvanlar karıncalar gibi görünmemektedir (Viegas 2014; Murphyvd,2000 ). Bu durum agresif bir mimikri davranışı olup tamamen avlamaya yöneliktir.



*Myrmarachne melanotarsa*

Zodariidae

Bunların yanı sıra sıçrayıcı örümcekler genel olarak isimlerinde de anıldığı gibi sıçrayarak hareket etmektedir ve sıçrama ile uzak mesafelere hareket ederler, sık sık yön değiştirerek ve çoğunlukla birkaç milimetre yürüyerek duraklama hareketi yaparlar. Bu harekete dur-kalk denir (Jackson 1990, 1986b). Karıncalar ise daha uzun süreli sürekli hareket halindedirler ve bazı salticid örümceklerin bu hareketi karınca benzeri olduğu belirlenmiştir (Pocock 1908; Reiskind 1977; Jackson 1986a; Oliveira 1988; Nelson ve ark. 2004). Örneğin, *Myrmarachne lupata* hızla hareket eder ve bu hareket karıncalarda gözlemlenen sürekli hareket modeline benzer.

Ayrıca bazı örümceklerde araneofajik davranış biçimi sergilerler. Bu bağlamda örümcek ağında avını bekleyen bir örümceği avcısı olan başka bir örümcek taklit edebilmektedir. Ağın içinde sabit şekilde duran örümcek, Portia cinisine ait avcı sıçrayıcı örümcek ağdan bir parça kopararak besin gibi davranmakta ve ağ örümceğini kendine çekmektedir (Jackson & Blest 1982; Jackson & Hallas 1986).

Salticidae familyasının yanısıra yengeç örümcekler olarak adlandırılan Thomisidae üyeleri de hem rahatlıkla beslenebilmek hem de besin olabilmekten kurtulmak adına taklit yapmaktadırlar. Familya içerisinde *Aphantochilus* türleri, avladıkları *Cephalotes* karıncalarını taklit eder.



*Aphantochilus sp.*

Ayrıca bazı thomisid üyeleri çiçekli bitkiler içinde bitkiye uyumlu renkleri ile farkedilmezler ve kelebekler ile beslenebilmektedirler. Bazı thomisid üyeleri ise bitkiler ile yaptığı renk uyumundan faydalanarak av olmaktan kurtulurlar.



*Misumena sp.*



*Misumena vatia*

Netice olarak örümcek familyaları arasında özellikle karıncaları çeşitli yönlerle (morfolojik, davranışsal) taklit eden sıçrayıcı örümcekler, taklit durumu çoğunlukla kendi lehine avantaja çevirirler. Saltisid örümcekler avcı olarak karıncaları avlamanın yanı sıra, av olmaktan da karınca taklitleri yaparak kaçınırlar. Taklit hayvanlarda hayatta kalabilmenin önemli bir avantajdır ve bu avantajı örümcekler çok iyi kullanabilen eklembacaklılardır.

## Kaynaklar

- Cushing, Paula E. (1997). "Myrmecomorphy and Myrmecophily in Spiders: A Review". *The Florida Entomologist*. **80** (2): 165–193. doi:10.2307/3495552
- Cutler, Bruce (1991). "Reduced predation on the antlike jumping spider *Synageles occidentalis* (Araneae: Salticidae)". *Journal of Insect Behavior*. **4** (3): 401–407.
- <https://api.naturemapr.org/api/species/14101/images/1?width=330&height=330>
- <https://inaturalist-open-data.s3.amazonaws.com/photos/92655989/large.jpg>
- <https://photos.smugmug.com/Ants/Natural-History/Ant-Mimics/iNVqS-JTC/2/0ac98d57/M/Aphantochilus3-M.jpg>
- <https://salticidae.pl/diagnost/myrmar/mela-mod.jpg>
- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/81/Ver%C3%A4nderliche\\_Krabbenspinne\\_mit\\_Beute.jpg/180px-Ver%C3%A4nderliche\\_Krabbenspinne\\_mit\\_Beute.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/8/81/Ver%C3%A4nderliche_Krabbenspinne_mit_Beute.jpg/180px-Ver%C3%A4nderliche_Krabbenspinne_mit_Beute.jpg)
- <https://www.bilimcini.com/wp-content/webp-express/webpimages/uploads/2017/12/Peygamberdevesi.jpg>
- <https://www.blogs.unicamp.br/rainha/wpcontent/uploads/sites/254/2011/08/salticidae.jpg>[https://cdn.evrimagaci.org/3q1qZv73Szn0UdrwAZM-RC9HOT8=/evrimagaci.org%2Fpublic%2Fcontent\\_media%2Fcf7422194bae3f2992a3ec85c3bf4adb1.jpg](https://cdn.evrimagaci.org/3q1qZv73Szn0UdrwAZM-RC9HOT8=/evrimagaci.org%2Fpublic%2Fcontent_media%2Fcf7422194bae3f2992a3ec85c3bf4adb1.jpg)
- Huang, Jin-Nan; Cheng, Ren-Chung; Li, Daiqin; Tso, I.-Min (2011). "Salticid predation as one potential driving force of ant mimicry in jumping spiders". *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*. **278** (1710): 1356–1364.
- Jackson, R. R. & Blest, A. D. (1982). The biology of *Portia fimbriata*, a web building jumping spider (Araneae, Salticidae) from Queensland - Utilization of webs and predatory versatility. *Journal of Zoology*, 196, 255-293.
- Jackson, R. R. & Hallas, S. E. A. (1986). Comparative biology of *Portia africana*, *Portia albimana*, *Portia fimbriata*, *Portia labiata*, and *Portia shultzi*, Araneophagic, web building jumping spiders (Araneae, Salticidae) - Utilization of webs, predatory versatility, and intraspecific interactions. *New Zealand Journal of Zoology*, 13, 423-489.
- Jackson, R. R. (1986a). The biology of ant-like jumping spiders (Araneae, Salticidae): Prey and predator behavior of *Myrmarachne* with particular attention to *M. lupata* from Queensland. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 88, 179-190.
- Jackson, R. R. (1986b). The display behaviour of *Cosmophasis micarioides* (L.Koch) (Araneae, Salticidae), a jumping spider from Queensland. *New Zealand Journal of Zoology*, 13, 1-12.

- Jackson, R. R. (1990). Comparative-study of Lyssomanine jumping spiders (Araneae, Salticidae) - Silk use and predatory behaviour of Asemonea, Goleba, Lysomanes, and Onomastus. *New Zealand Journal of Zoology*, 17, 1-6.
- Levy G (1998b). Araneae: Theridiidae. In: *Fauna Palaestina, Arachnida III*. Israel Academy of Sciences and Humanities, Jerusalem. 228 pp.
- Murphy, Frances & Murphy, John (2000): "An Introduction to the Spiders of South East Asia". *Malaysian Nature Society*, Kuala Lumpur. Page 303
- Nelson, X. J., Jackson, R. R., Pollard, S. D., Edwards, G. B. & Barrion, A. T. (2004). Predation by ants on jumping spiders (Araneae: Salticidae) in the Philippines. *New Zealand Journal of Zoology*, 31, 45-56.
- Nelson, Ximena; et al. (April 2006). "Innate aversion to ants (Hymenoptera: Formicidae) and ant mimics: experimental findings from mantises (Mantodea)". *Biological Journal of the Linnean Society*. 88 (1): 23–32.
- Nyffeler, M., & Pusey, B. J. (2014). Fish predation by semi-aquatic spiders: a global pattern. *PLoS one* 9 (6), e99459..
- Oliveira, P. S.(1988). Ant-mimicry in some Brazilian salticid and clubionid spiders (Araneae: Salticidae, Clubionidae). *Biological Journal of the Linnean Society*, 33, 1-15.
- Pedersen Zari, M. (2007). Biomimetic approaches to architectural design for increased sustainability. *Sustainable Building Konferansı'nda sunulan bildiri*, Auckland. 10 Haziran 2020 tarihinde [https://www.academia.edu/9509269/BIOMIMETIC\\_APPROACHES\\_TO\\_ARCHITECTURAL\\_DESIGN](https://www.academia.edu/9509269/BIOMIMETIC_APPROACHES_TO_ARCHITECTURAL_DESIGN) adresinden erişildi.
- Pocock, R. I. (1908). Mimicry in spiders. *Journal of the Linnean Society (Zoology)*, 30, 256-270.
- Reiskind, J. (1977). Ant-mimicry in Panamanian clubionid and salticid spiders (Araneae: Clubionidae Salticidae). *Biotropica*, 9, 1-8.
- Viegas, Jennifer (2014). "More Than 300 Spiders Pretend to be Ants"
- Wagan TA, Li X, Hua H, Cai W (2019). Starvation time and predatory efficiency of spider species on *Bemisia tabaci* (Homoptera: Aleyrodidae). *The Florida Entomologist* 102 (4): 684-690.
- World Spider Catalog (2023). *World Spider Catalog*. Version 24. Natural History Museum Bern, online at <http://wsc.nmbe.ch>, accessed on {June}. doi: 10.24436/2
- Yiğit N. (2019)-Genel Ekoloji Ders Notu, Hayvan Ekolojisi Kısmı Öğrenci Nüshası 2019-20, Ankara Üniv. Fen Fak. Biyoloji bl.



# Bayesyen Regresyon Modelinde Stokastik Kısıt Altında Parametrelerin Tahmini

Berrin Gültay<sup>1</sup>

## Özet

Genel lineer regresyon modelinde parametrelerin tahmin edilebilmesi için stokastik düzgülün ön bilgi (önsel) kullanımını son yıllarda önemli bir çözümleme tekniği olarak karşılaşılmaktadır. Bu yöntemi en etkili ve en anlamlı şekilde uygulamanın yolu ise Bayesyen yaklaşımını kullanarak mümkündür. Bayesyen regresyon analizinin karakteristiğini yansıtan özellik, analizde ön bilgiye yer verilmesidir. Bayesyen yaklaşımda, denemeler yapılmadan önce parametreye ilişkin sahip olunan ön bilgi ön olasılık yoğunluk fonksiyonu sayesinde analize dahil edilir. Bu çalışmada da Bayesyen regresyon modelindeki parametreleri tahmin etmek için stokastik ön bilgi olması durumunda kullanılacak teorik çıkarımlar ele alınmıştır.

## 1. Stokastik Kısıt Altında Genel Lineer Regresyon Modelinde Parametrelerin Tahmini

$$y = X\beta + u \quad (1.1)$$

şeklinde genel lineer regresyon modelimiz olsun. Burada  $y$ ,  $T \times 1$  tipinde yanıt değişkenlerin vektörü,  $X$ ,  $T \times p$  tipinde stokastik olmayan açıklayıcı değişkenlerin gözlenen matrisi,  $\beta$ ,  $p \times 1$  tipinde bilinmeyen regresyon katsayılarının vektörü ve  $u$ ,  $T \times 1$  tipinde sıfır ortalamalı,  $\sigma^2 I$  varyans-kovaryans matrisli rasgele hataların vektörüdür, yani  $u \sim N(0, \sigma^2 I)$ .

Theil ve Goldberger (1961),  $R\beta = r$  lineer kısıtlarını stokastik formda kullanarak mixed regresyon modelini geliştirmişlerdir.  $r$ ,  $m \leq p$  olmak üzere rassal değişkenin  $m \times 1$  boyutlu bir vektör olan lineer kısıtlar,

$$r = R\beta + v$$

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, [berringultay@comu.edu.tr](mailto:berringultay@comu.edu.tr), Orcid: 0000-0001-5889-7461

(1.2) olarak yazılabilir. Burada  $R$ ,  $m \times p$  tipinde kısıtların belirlendiği matris,  $v$  sıfır ortalamalı,  $\sigma_v^2 \Omega$  kovaryans matrisli, normal dağılımlı hataların vektörüdür. Yani  $v \sim N(0, \sigma_v^2 \Omega)$ 'dir. Ayrıca  $u$  ve  $v$  bağımsızdır. (1.2) ile verilen kısıt altında (1.1) ile verilen modelin parametrelerini tahmin edebilmek için modeli  $y$  ve  $X$  gözlemlerine (1.2)'deki bilgi eklenerek,

$$\begin{bmatrix} y \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ R \end{bmatrix} \beta + \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

şeklinde ya da,

$$y_M = X_M \beta + u_M \quad (1.4)$$

matris formunda yazılabilir. Burada  $M$  mixed olduğunu göstermektedir. (1.3) modeli (1.2) önbilgisi ile (1.1)'deki örneklem bilgisini birleştirmektedir.  $u_M \sim N(0, \Omega_M)$ 'dir.  $\Omega_M$ ,  $P: (m+T) \times (m+T)$  dönüşüm matrisi olmak üzere  $P' \Omega_M P = I$ ,  $\Omega_M^{-1} = PP'$  olacak şekilde,

$$\Omega_M = \begin{bmatrix} \sigma^2 I_T & 0 \\ 0 & \sigma_v^2 \Omega \end{bmatrix} \quad \text{ve} \quad \Omega_M^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma^2} I_T & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_v^2} \Omega^{-1} \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

formunda pd (pozitif tanımlı) bir matristir. Böylece  $P'u_M \sim N(0, I)$  olur ve

$$P'y_M = P'X_M \beta + P'u_M \quad (1.6)$$

şeklindeki dönüştürülmüş modele En Küçük Kareler (EKK) tahmin yöntemi uygulanabilir. Bunun için,

$$\begin{aligned} (P'y_M - P'X_M \beta)' (P'y_M - P'X_M \beta) &= (y_M - X_M \beta)' \Omega_M^{-1} (y_M - X_M \beta) \\ &= \frac{(y - X\beta)' (y - X\beta)}{\sigma^2} + \frac{1}{\sigma_v^2} (r - R\beta)' \Omega^{-1} (r - R\beta) \end{aligned}$$

fonksiyonu  $\beta$ 'ya göre minimize edilmelidir. Buradan,

$$\begin{aligned} b_M &= \left[ (P'X_M)' (P'X_M) \right]^{-1} (P'X_M)' P'y_M \\ &= (X_M' \Omega_M^{-1} X_M)^{-1} X_M' \Omega_M^{-1} y_M \end{aligned} \quad (1.7)$$

şeklinde bilinen bir  $\Omega_M$  ile en iyi lineer yansız tahmin edici (BLUE) olan Aitken Genelleştirilmiş EKK (GEKK) tahmin edicisi elde edilir. Burada ise Mixed tahmin edici olarak adlandırılacaktır.

$$X'_M \Omega_M^{-1} X_M = [X'R'] \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma^2} I_T & 0 \\ 0 & \frac{1}{\sigma_v^2} \Omega^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ R \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{\sigma^2} X'X + \frac{1}{\sigma_v^2} R'\Omega^{-1}R$$

olmasından dolayı,  $\lambda = \sigma^2 / \sigma_v^2$  şeklinde varyansların oranı olmak üzere  $b_M$ 'nin farklı bir formu ise,

$$b_M = \left[ \frac{1}{\sigma^2} X'X + \frac{1}{\sigma_v^2} R'\Omega^{-1}R \right]^{-1} \left[ \frac{X'y}{\sigma^2} + \frac{R'\Omega^{-1}r}{\sigma_v^2} \right]$$

$$= (X'X + \lambda R'\Omega^{-1}R)^{-1} (X'y + \lambda R'\Omega^{-1}r)$$

$$= (X'X + \lambda R'\Omega^{-1}R)^{-1} (X'Xb + \lambda R'\Omega^{-1}b_p) \quad (1.8)$$

şeklindedir. Burada  $b = (X'X)^{-1} X'y$ , (1.1) modelindeki  $\beta$ 'nin EKK tahmin edicisi ve  $b_p = (R'\Omega^{-1}R)^{-1} R'\Omega^{-1}r$  ise (1.2) kısıtındaki  $\beta$ 'nin önbilgi tahmin edicisidir. (1.8)'deki yapı  $b_p$  önbilgi tahmin edicisi ile  $b$  örneklem tahmin edicisinin ağırlıklandırılmış matris kombinasyonu şeklinde mixed tahmin ediciyi ifade etmektedir. Yani,

$$W_1 = (X'X + \lambda R'\Omega^{-1}R)^{-1} X'X$$

$$W_2 = \lambda (X'X + R'\Omega^{-1}R)^{-1} R'\Omega^{-1}R$$

olmak üzere

$$b_M = W_1 b + W_2 b_p \quad (1.9)$$

yapısındadır.



## 2. Bayesyen Regresyon Modeli

Bayesyen regresyon analizinin karakteristiğini yansıtan özellik, analizde ön bilgiye yer verilmesidir. Herhangi bir örneklem bilgisi gözlemeden önce elde edilen bilgi varsa dağılıma ön (önsel) dağılım denir. Ön dağılım ve örneklem bilgisinden elde edilen dağılıma ise son (sonsal) dağılım denir. Bayesyen yaklaşımda, denemeler yapılmadan önce parametreye ilişkin sahip olunan ön bilgi ön olasılık yoğunluk fonksiyonu sayesinde analize dahil edilir. Ancak ön bilgi her aşamada mevcut olmayabilir veya farklı seviyelerde ön bilgi olabilir. Bundan dolayı ön dağılımın oluşturulması bilgi veren ve bilgi vermeyen ön olasılık yoğunluk fonksiyonu şeklinde iki başlık halinde incelenebilir. Bayesyen yaklaşımda  $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$  ve  $\sigma$  parametreleri birer rasgele değişkendir ve olasılık dağılımları vardır.

$\phi$ ,  $\beta$  ve  $\sigma$ 'yı içeren parametre vektörü,  $y$ ,  $f(y/\phi)$  ortak olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahip örneklem gözlemlerinin bir vektörü olsun.  $f(y/\phi)$ ,  $\beta$  ve  $\sigma$  için benzerlik (likelihood) fonksiyonuna benzer ve  $\beta$  ve  $\sigma$  hakkındaki tüm örneklem bilgisini içerir.  $\phi$  bir rasgele vektör olarak alınır,

$$h(\phi, y) = f(y/\phi)g(\phi) = g(\phi/y)f(y) \quad (2.1)$$

eşitliği yazılabilir. Burada  $h$ ,  $\phi$  ve  $y$ 'nin ortak olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $g$ ,  $\phi$ 'nın olasılık yoğunluk fonksiyonu,  $f$ ,  $y$ 'nin olasılık yoğunluk fonksiyonunu göstermektedir. (2.1) ile verilen eşitlik yeniden düzenlenirse,

$$g(\phi/y) = \frac{f(y/\phi)g(\phi)}{f(y)} \quad (2.2)$$

olarak yazılabilir. Bu ifade Bayes Teoremi olarak bilinmektedir.  $g(\phi/y)$ ,  $y$  örnekleme elde edildikten sonra  $\phi$  ile ilgili tüm bilgiyi özetlediğinden dolayı,  $\phi$  için son olasılık yoğunluk fonksiyodur.  $g(\phi)$ ,  $\phi$  için ön olasılık yoğunluk fonksiyonudur ve  $\phi$  ile ilgili örneklem olmayan bilgiyi özetler.  $f(y)$ ,  $\phi$ 'ya göre sabit olarak ele alınabilir ve  $f(y/\phi)$ ,  $L(\phi/y)$  şeklinde benzerlik fonksiyonu şeklinde yazılabilirse, (2.2) eşitliği,

$$g(\phi/y) \propto L(\phi/y)g(\phi) \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. (1.3) ile verilen genel lineer regresyon modeline Bayesyen kuralı uygulandığı zaman analizin temelini oluşturan süreç,

**Son oyf  $\propto$  Ön oyf  $\times$  Benzerlik Fonksiyonu**

$$P(\beta, \sigma/y) \propto P(\beta, \sigma)L(\beta, \sigma/y) \quad (2.4)$$

şeklindedir.  $y' = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ , bilinmeyen  $\mu$  ortalamalı, bilinen  $\sigma^2 = \sigma_0^2$  varyanslı normal bir kitleden çekilmiş  $n$  birimlik bağımsız gözlemler olsun.  $\mu$  parametresinin son dağılımı (2.4)'den,

$$p(\mu|y, \sigma_0^2) \propto p(\mu)p(y|\mu, \sigma_0^2) \quad (2.5)$$

şeklinde elde edilir. Burada  $p(\mu|y, \sigma_0^2)$ , verilen bir  $y$  örneklem bilgisi ve bilindiği varsayılan  $\sigma_0^2$  varyans ile  $\mu$  parametresinin son olasılık yoğunluk fonksiyonu olup,  $p(\mu)$  ise ön olasılık yoğunluk fonksiyonudur.  $p(y|\mu, \sigma_0^2)$

ise bilinmeyen  $\mu$  parametresinin  $\prod_{i=1}^n p(y_i|\mu, \sigma_0^2)$  şeklinde benzerlik fonksiyonudur. Yani,

$$\begin{aligned} p(y|\mu, \sigma_0^2) &= (2\pi\sigma_0^2)^{-n/2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_0^2} \sum_{i=1}^n (y_i - \mu)^2\right] \\ &= (2\pi\sigma_0^2)^{-n/2} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_0^2} [vs^2 + n(\mu - \hat{\mu})^2]\right] \end{aligned} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilebilir. Burada  $v = n - 1$ ,  $\hat{\mu} = (1/n) \sum_{i=1}^n y_i$  örneklem

ortalaması  $s^2 = (1/v) \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{\mu})^2$  olan örneklem varyansıdır.  $\mu$  için bir

ön dağılım fonksiyonu göz önünde bulundurmak istenirse, bu parametre hakkındaki ön bilginin tek değişkenli normal dağılıma sahip ise,

$$p(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma_a^2} (\mu - \mu_a)^2\right] \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir. Burada  $\mu_a$  ve  $\sigma_a^2$  araştırmacı tarafından belirlenen ve onun elde ettiği başlangıç bilgilerine dayanan ön ortalama ve ön varyanstır.

Buradan Bayes teoremini (2.6)'daki benzerlik fonksiyonu ve (2.7)'deki ön oylar ile birleştirilerek  $\mu$  için son oylar,

$$\begin{aligned}
 p(\mu|y, \sigma_0^2) &\propto p(\mu)p(y|\mu, \sigma_0^2) \\
 &\propto \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{(\mu - \mu_a)^2}{\sigma_a^2} + \frac{n}{\sigma_0^2}(\mu - \hat{\mu})^2\right]\right\} \\
 &\propto \exp\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\sigma_a^2 + \sigma_0^2/n}{2\sigma_a^2\sigma_0^2/n} + \left(\mu - \frac{\hat{\mu}\sigma_a^2 + \mu_a\sigma_0^2/n}{\sigma_a^2 + \sigma_0^2/n}\right)^2\right]\right\} \quad (2.8)
 \end{aligned}$$

olarak bulunur. Burada  $\mu$ ,

$$E(\mu) = \frac{\hat{\mu}\sigma_a^2 + \mu_a\sigma_0^2/n}{\sigma_a^2 + \sigma_0^2/n} = \frac{\hat{\mu}(\sigma_0^2/n)^{-1} + \mu_a(\sigma_a^2)^{-1}}{(\sigma_0^2/n)^{-1} + (\sigma_a^2)^{-1}} \quad (2.9)$$

ortalama ve

$$Var(\mu) = \frac{\sigma_a^2\sigma_0^2/n}{\sigma_a^2 + \sigma_0^2/n} = \frac{1}{(\sigma_0^2/n)^{-1} + (\sigma_a^2)^{-1}} \quad (2.10)$$

varyanslı, normal dağılımlı bir son dağılımdır.

## 2.1. Bayesyen Regresyon Modelinde Kullanılan Bazı Ön Dağılım Çeşitleri

Ön dağılım, araştırmacının elindeki bilgileri analize yansıtma aracıdır. Ön dağılımın seçimi araştırmacının bilgi ve düşüncesine bağlıdır. Ön dağılımın seçiminde veya oluşturulmasında çok çeşitli sınıflandırmalar yapılabilir. Örneğin, Modern Parametrik Bayesciler, tasarlanmış özelliklere sahip eşlenik ön dağılım belirlemeyi uygun görürken, Subjektif Bayesciler çoğunlukla uzman görüşünden elde edilen bilgiye göre ortaya çıkarılan ön dağılımı tercih ederler (Ekici, 2005). Burada genel lineer modelde eşlenik ön dağılım ve belirsiz ön dağılım çeşitleri ele alınacaktır. Eşlenik ön dağılım, ön dağılım ile benzerlik fonksiyonu birleştirildiğinde elde edilen son dağılımının da ön dağılım ile aynı fonksiyon formunda olduğu bir dağılımdır. Eğer parametreler hakkında hiçbir bilgi yoksa bilgi verici olmayan ya da belirsiz ön dağılım şeklinde adlandırılan ön dağılım kullanılmaktadır.

### 2.1.1. Eşlenik Ön Dağılım

$u \sim N(0, \sigma^2 I)$  olmak üzere  $y$ ,  $X\beta$  ortalama vektörlü,  $\sigma^2 I$  varyans kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılıma sahip olsun. Yani  $y \sim N(X\beta, \sigma^2 I)$ .  $y$ 'nin yoğunluk fonksiyonu (verinin olasılığı),

$$f(y/\beta, \sigma, X) = \frac{1}{(2\pi)^{T/2} \sigma^T} \exp\left[-\frac{1}{\sigma^2} (y - X\beta)' (y - X\beta)\right] \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir. Bu da,  $y$  ve  $X$  üzerine verilmiş bir veri kümesi için  $\beta$  ve  $\sigma$ 'ya bağlı benzerlik fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Yani,

$$L(\beta, \sigma) = L(\beta, \sigma/y) = f(y/\beta, \sigma, X) \quad (2.12)$$

olur. Benzerlik fonksiyonundaki karesel formu,

$$\begin{aligned} (y - X\beta)' (y - X\beta) &= (y - Xb)' (y - Xb) + (\beta - b)' X'X(\beta - b) \\ &= SSE(b) + (\beta - b)' X'X(\beta - b) \end{aligned} \quad (2.13)$$

şeklinde yazabiliriz. Böylece benzerlik fonksiyonu,

$$\begin{aligned} L(\beta, \sigma) &= \frac{1}{(2\pi)^{T/2} \sigma^T} \exp\left[\frac{1}{2\sigma^2} \{SSE(b) + (\beta - b)' X'X(\beta - b)\}\right] \\ &\propto \\ \sigma^{-T} \exp\left[\frac{1}{2\sigma^2} \{SSE(b) + (\beta - b)' X'X(\beta - b)\}\right] \end{aligned} \quad (2.14)$$

Burada  $\propto$  orantılılığı ve sabitlerin atılarak ifadenin basitleşebileceğini göstermektedir. İki tür durumla karşılaşılabilir.

**Durum 1.** (Bilinen  $\sigma$  ile) Bu durumda (2.14) eşitliği,

$$L(\beta) \propto \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (\beta - b)' X'X(\beta - b)\right]$$

olarak yazılabilir. Çünkü  $SSE(b)/2\sigma^2$  ifadesi  $\beta$ 'yi içermemektedir. Benzerlik fonksiyonunun bu yapısından dolayı  $\beta$ 'nin ön dağılımı için normal dağılım kullanılabileceği önerilmiştir.  $\beta_0$  önsel ortalama vektörü ve  $\sigma^2 \Omega$  önsel varyans kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılım,

$$p(\beta) = \frac{1}{\left(2\pi^{p/2} |\sigma^2 \Omega|^{1/2}\right)} \exp\left[\frac{1}{2\sigma^2} (\beta - \beta_0)' \Omega^{-1} (\beta - \beta_0)\right] \\ \propto \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (\beta - \beta_0)' \Omega^{-1} (\beta - \beta_0)\right] \quad (2.15)$$

şeklinindedir. Daha sonra Bayes teoremi kullanılarak sonsal yoğunluğu oransal ön dağılım ile benzerlik fonksiyonun çarpımı şeklinindedir. Yani,

$$p(\beta/y) \propto p(\beta)L(\beta) \\ \propto \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \left\{(\beta - b)' X'X(\beta - b) + (\beta - \beta_0)' \Omega^{-1} (\beta - \beta_0)\right\}\right] \quad (2.16)$$

olarak ifade edilir.  $(\beta - b)' X'X(\beta - b) + (\beta - \beta_0)' \Omega^{-1} (\beta - \beta_0)$  ifadesi,

$$= \beta' (X'X + \Omega^{-1}) \beta - 2\beta' (X'Xb + \Omega^{-1}\beta_0) + c \\ = (\beta - b^*)' \Omega^{*-1} (\beta - b^*) + c \quad (2.17)$$

olarak da yazılabilir. Burada  $c = b'X'Xb + \beta_0'\Omega^{-1}\beta_0$  olarak kısaltılmıştır ve  $\beta'$ 'yi içermediği görülmektedir. Ayrıca burada,

$$b^* = (X'X + \Omega^{-1})^{-1} (X'Xb + \Omega^{-1}\beta_0) \\ \Omega^* = (X'X + \Omega^{-1})^{-1} \quad c^* = c - b'^* \Omega^{*-1} b^* \quad (2.18)$$

şeklinindedir ve bu ifadeler de  $\beta'$ 'yi içermemektedir. (2.18) kullanılarak sonsal yoğunluğu,

$$p(\beta/y) \propto \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} (\beta - b^*)' \Omega^{*-1} (\beta - b^*)\right] \quad (2.19)$$

şeklinde yazılabilir. Burada  $(2\pi)^{-T/2} |\sigma^2 \Omega^*|^{-1/2}$  normallik sabitidir. Benzer şekilde yoğunluk  $b^*$  ortalama vektörlü,  $\Omega^*$  varyans kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımlıdır. Bu sonsal yoğunlukta genellikle  $\beta \sim N(b^*, \sigma^2 \Omega^*)$  şeklinde ifade edilir. Önsel ve sonsalın normal olmasından

dolayı, yukarıda  $\beta$  için verinin ön dağılımı eşlenik ön dağılım olarak adlandırılır.

Genel olarak ise,

$$\begin{aligned} b_1^* &= \left( \frac{X'X}{\sigma^2} + \frac{\Omega^{-1}}{\sigma_\beta^2} \right)^{-1} \left( \frac{X'Xb}{\sigma^2} + \frac{\Omega^{-1}\beta_0}{\sigma_\beta^2} \right) \\ \Omega_1^* &= \left( \frac{X'X}{\sigma^2} + \frac{\Omega^{-1}}{\sigma_\beta^2} \right)^{-1} \end{aligned} \quad (2.20)$$

olmak üzere ön dağılım  $\beta \sim N(\beta_0, \sigma_\beta^2 \Omega)$  ise son dağılım  $\beta \sim N(b^*, \sigma^2 \Omega_1^*)$  'dir. Ayrıca  $\sigma_\beta^2 = \sigma^2$  için,  $b_1^* = b^*$  ve  $\Omega_1^* = \Omega^*$  olur.

**Durum 2.** (Bilinmeyen  $\sigma$  ile) Bu durumda (2.14)'deki benzerlik fonksiyonuna yakın bir ön dağılım söz konusudur.  $a > 0$ ,  $l > 0$  olmak üzere eşlenik ön dağılım,

$$\begin{aligned} p(\beta, \sigma) &= p(\beta/\sigma)p(\sigma) \propto \\ \sigma^{-(l+p)} |\Omega|^{-1/2} \exp \left[ -\frac{1}{2\sigma^2} \left[ (l-1)a^2 + (\beta - \beta_0)' \Omega^{-1} (\beta - \beta_0) \right] \right] \end{aligned} \quad (2.21)$$

şeklinde bir ortak dağılımdır.  $l > 1$  ve  $a > 0$  olmak üzere,

$$p(\sigma) \propto \sigma^{-1} \exp \left[ \frac{(l-1)a^2}{2\sigma^2} \right]$$

ters gama fonksiyonu ile,

$$p(\beta/\sigma) \propto |\Omega|^{-1/2} \sigma^{-p} \exp \left[ \frac{1}{2\sigma^2} (\beta - \beta_0)' \Omega^{-1} (\beta - \beta_0) \right]$$

koşullu dağılımı ise verilen bir  $\sigma$  ile  $\beta$ 'nin çok değişkenli dağılımıdır.

$p(\beta, \sigma) = p(\beta/\sigma)p(\sigma)$  eşitliği ortak olasılık için ailesel ilişkinin benzer olduğu doğrulanabilir.  $p(\beta, \sigma)$ 'nin  $\sigma > 0$  için integrali alındığında  $\beta$ 'nin marjinal dağılımı çok değişkenli student t olacaktır.

(2.14)'deki benzerlik fonksiyonu (2.20) ve (2.21)'deki ön dağılımlar ile çarpıldığında  $\beta$  ve  $\sigma$ 'nin son dağılımı,

$$p(\beta, \sigma/y) \propto \sigma^{-n} \exp\left[\frac{1}{2\sigma^2} \left\{c_0 + (\beta - b^*)' \Omega^{*-1} (\beta - b^*)\right\}\right] \quad (2.22)$$

elde edilir. Burada  $n = (T + l + p)$  ve  $c_0 = SSE(b) + (l - 1)a^2 + c^*$  'dir. (2.22)'nin  $\sigma$ 'ya göre integrali alındığında  $\beta$ 'nin marjinal son dağılımı,

$$p(\beta/y) \propto \left[ c_0 + (\beta - b^*)' \Omega^{*-1} (\beta - b^*) \right]^{-(n-1)/2} \quad (2.23)$$

olur. Bu da  $b^*$  ortalama vektörlü,  $\frac{c_0}{n - p - 1} \Omega^*$  varyans kovaryans matrisli çok değişkenli  $t$  dağılımının yoğunluk fonksiyodur.

Böylece,  $\beta$ 'nin son yoğunluk fonksiyonu  $\sim$  çok değişkenli  $t\left(b^*, \frac{c_0}{n - p - 1} \Omega^*\right)$  olur.

### 2.1.2. Belirsiz Ön Dağılım

$\beta$  ve  $\sigma$  parametreleri hakkında bilginiz olmadığı durumda  $\beta$  ve  $\sigma$ 'nın ortak ön dağılımı,

$$\begin{aligned} p(\beta, \sigma) &= p(\beta/\sigma)p(\sigma) \\ &\propto \frac{1}{\sigma} \end{aligned} \quad (2.24)$$

şekindedir. Burada  $p(\beta/\sigma)$  bir sabit ve  $p(\sigma)$ ,  $1/\sigma$  ile orantılıdır. Bu da (2.21)'deki  $\beta$  ve  $\sigma$ 'nın ön dağılımlarının varyanslarının  $\Omega^{-1} \rightarrow 0$  ve  $a \rightarrow 0$  olmasıyla elde edilebilir. (2.24)'deki ön dağılım, "belirsiz" ön dağılım ya da "uygunsuz" ön dağılım olarak bilinir. Uygunsuz denmesinin sebebi olasılık yoğunluk fonksiyonunun integrali alındığında sonsuz çıkar ve olasılıklar toplamının 1'e eşit olma aksiyomunu bozar. Ayrıca bu Jeffreys' in ön dağılımı olarak da bilinmektedir (Jeffreys, 1957). Belirsiz ön dağılım kullanarak son dağılım,

$$p(\beta, \sigma/y) \propto \sigma^{-(T+1)} \exp\left[-\frac{1}{2\sigma^2} \{SSE(b) + (\beta - b)' X' X (\beta - b)\}\right] \quad (2.25)$$

şeklinde elde edilir. Böylece verilen bir  $\sigma$  ile  $\beta$ 'nin son dağılımı  $\beta \sim N(b, \sigma^2(X'X)^{-1})$  olur. Ancak,  $\sigma$ 'ya göre integral alındığında  $\beta$ 'nin marjinal son dağılımı,

$$p(\beta/y) \propto [SSE(b) + (\beta - b)' X' X (\beta - b)]^{-T/2} \quad (2.26)$$

olur. Bu da  $b$  ortalama vektörlü,  $\frac{SSE(b)}{T-p} (X' X)^{-1}$  varyans kovaryans matrisli çok değişkenli  $t$  dağılımıdır.  $\sigma$  hakkında yorum yapabilmek için ortak son dağılımın  $\beta$ 'ya göre integrali alınmalıdır.

### 3. Bayesyen Tahmin Edici ve Mixed Tahmin Edici Arasındaki İlişki

$\beta$  ve  $\sigma$  üzerine eşlenik ya da bilgi verici olmayan ön dağılımlar kullanıldığında  $\beta$ 'nin marjinal son dağılımı çok değişkenli  $t$  dağılımı elde edilmiştir. Böylece  $\beta$  parametresi çok değişkenli  $t$  dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonunun bilinen özellikleri kullanılarak analiz edilebilir. Bu simetrik son yoğunluk fonksiyonunun ortalaması moduna eşittir ve parametrenin Bayes tahmin edicisini sağlamaktadır. Bayes tahmin edici karesel kayıp fonksiyonuna göre beklenen kaybın minimum olduğu bir tahmin edicidir (MELO). (2.26)'dan  $\beta$  ve  $\sigma$  hakkında belirsiz ön bilgi olduğu varsayılırsa  $\beta$ 'nin Bayes tahmin edicisi, EKK ya da Maksimum Likelihood tahmin edicisi (MLE) ile aynıdır, yani  $b = (X' X)^{-1} X' y$  olur.  $\beta$  ve  $\sigma$  üzerine eşlenik ön dağılım kullanılması durumunda ise  $\beta$ 'nin Bayes tahmin edicisi (2.18)'den,

$$\begin{aligned} b^* &= (X' X + \Omega^{-1})^{-1} (X' X b + \Omega^{-1} \beta_0) \\ &= (X' X + \Omega^{-1})^{-1} X' X b + (X' X + \Omega^{-1})^{-1} \Omega^{-1} \beta_0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

şeklinde.  $b^*$  tahmin edicisi, veriye ve  $\beta_0$  önsel ortalama dayalı  $b$ 'nin ağırlıklandırılmış matris kombinasyonudur. Ayrıca  $b$  ve  $\beta_0$ 'ın ağırlık matrisleri sırasıyla  $b$  ve  $\beta$ 'nin varyans ve kovaryans matrislerinin normleştirilmiş tersleridir.  $V(b) = \sigma^2 (X' X)^{-1}$  ve  $V(\beta) = \sigma^2 \Omega$  olduğundan  $V(b)^{-1} + V(\beta)^{-1} = \frac{1}{\sigma^2} (X' X + \Omega^{-1})$  olur.

Ayrıca (3.1)'deki Bayesyen tahmin edici  $b^*$ 'daki ikinci parantezin içine  $X' X \beta_0$  ekleyip çıkartma işlemi yapılarak,

$$b^* = (X' X + \Omega^{-1})^{-1} [X' X (b - \beta_0) + (X' X + \Omega^{-1}) \beta_0] \quad (3.2)$$

$$= \beta_0 + (X' X + \Omega^{-1})^{-1} X' X (b - \beta_0) \quad (3.3)$$



şeklinde yazılabilir. Ya da  $X'X = X'X + \Omega^{-1} - \Omega^{-1}$  eşitliği kullanılarak,

$$b^* = \beta_0 + \left( I - (X'X + \Omega^{-1})^{-1} \Omega^{-1} \right) (b - \beta_0) \quad (3.4)$$

elde edilebilir. (3.1) ve (3.4)'daki Bayesyen tahmin edici  $b^*$ 'in her iki formu da  $R = I$ ,  $\lambda = 1$  ve  $r = \beta_0$  için mixed tahmin edici ( $b_M$ ) olarak bilinmektedir. Bunun anlamı ise  $p(\beta/\sigma)$ 'nin  $\beta_0$  ortalamalı,  $\sigma^2\Omega$  varyans kovaryans matrisli çok değişkenli normal dağılımlı olduğudur. Böylece  $E(v) = 0$  ve  $E(vv') = \sigma^2\Omega$  olmak üzere  $\beta = \beta_0 + v$  olarak yazılabilir. Bu da  $y = X\beta + u$  modelini  $r = \beta_0$  ve  $R = I$  olmak üzere  $r = R\beta + v$  stokastik kısıtlar ile çözebileceğimizi göstermektedir. Ancak Bayesyen sonuçlar ile mixed regresyon sonuçları benzer olsalar bile yorumları farklıdır. Bayesyen modelinde  $\beta$  bir rassal değişken iken mixed regresyon modelinde değildir.

## KAYNAKLAR

- [1] Ekici, O., (2005). Bayesyen Regresyon ve Win-Bugs İle Bir Uygulama. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [2] Graybill, F. A., (1961). An Introduction to Linear Statistical Models. Mc Graw Hill, New York, 463p.
- [3] Jeffreys, H., (1957). Scientific Inference. Cambridge University Press, 2th Ed. Cambridge, USA, 268p.
- [4] Lindley, D. V., (1971). Bayesian Statistics. A Review ( Philadelphia, Pa.: Society For Industrial and Applied Mathematics.
- [5] Lindley, D. V., Smith, A. F. M., (1972). Bayes Estimates for the Linear Model. Journal of the Royal Statistical Society, B Series, 1-41.
- [6] Myers, R. H., (1990). Classical and Modern Regression with Application. Duxbury Press, California, 488p.
- [7] Montgomery, D. C., Peck, E. A., (1992). Introduction to Linear Regression Analysis. John Wiley and Sons, New York, 526p.
- [8] Theil, H., Goldberger, A.S., (1961). On Pure and Mixed Statistical Estimation in Economics, International Economic Review, 2:65-78.
- [9] Vinod H. D., Ullah A., (1981). Recent Advances in Regression Methods. Marcel Dekker, Inc, 361p.



# Sonlu Cisimler Üzerinde Golay ve Hamming Kodları

Mustafa Özkan<sup>1</sup>

Elif Bıyıklı<sup>2</sup>

## Özet

Bu çalışma kapsamında genel olarak şu konulara değinilmiştir. Öncelikle kodlama teorisi hakkında bazı genel bilgilere yer verilmiştir. Kodlama türlerinden bahsedilerek haberleşme sisteminde kodlama teorisinin önemine değinilmiştir. Kodlama teorisi dalında özellikle matematiğin farklı alanları ile bağlantı oluşturarak, iletilecek verilerin transfer sürecinde ve saklanması sürecinde dış etkenler sonucu oluşabilecek tüm bozulmaları engellemek adına çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

Golay Kodların tarihçesi ile Voyager Programı kapsamında Satürn ve Jüpiter'e fırlatılan uzay araçları ile Dünya arasında veri iletiminin sağlanması konusunda bu kodların önemine yer verilmiştir. Sonra Golay Kodların tanımı yapılırak İkili ve üçlü Golay Kodların özellikleri üzerinde durulmuştur. İkili Golay Kod dijital iletişim sistemlerinde kullanılan bir tür doğrusal hata düzeltme kodu olarak geliştirilmiştir. Daha sonra Hamming Kodların tanımına ve özelliklerine yer verilmiş olup örneklerle açıklamalar yapılmıştır. Bilgisayarda verilerin iletimi esnasında oluşabilecek bozulmalara karşı gönderilen verilere ilave bitler eklenerek hataların tespit edilmesi hatta düzeltilmesi amaçlanmaktadır. Bu çalışmada Golay ve Hamming Kodların temel tanım ve önemli teoremlerine ispatlarıyla birlikte yer verilmiştir. Ayrıca Mükemmel Kod tanımına değinilerek Golay Kodlar ve Hamming Kodların birer Mükemmel Kod olduğu kanıtlanmıştır. Bu kodlar iletişim sistemlerinde oluşabilecek hataların düzeltilmesinde oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Trakya Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, [mustafaozkan@trakya.edu.tr](mailto:mustafaozkan@trakya.edu.tr), <https://orcid.org/0000-0001-7398-8564>

<sup>2</sup> Yük. Lis. Öğr. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, [elifbiyikli23@gmail.com](mailto:elifbiyikli23@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0007-9844-0344>



# SONLU CİSİMLER ÜZERİNDE GOLAY VE HAMMINGKODLARI

## 1. KODLAMA TEORİSİNE GİRİŞ

Kodlama teorisinin miladı olarak Claude Shannon'un 1948 yılında yayınlamış olduğu 'A Mathematical Theory of Communication' isimli makalesi kabul edilir. Başlangıç sayılan bu teoriden sonra kodlama teorisi gürültü kanalları boyunca güvenilir, hızlı veri iletimi ve veri iletimi sırasında bozulmaya uğrayan mesajı düzeltme gibi konular üzerinde durmuştur. Kodlama teorisi, kodların özelliklerini ve bunların belirli uygulamalar için uygunluğunu inceleyen bir teoridir.

Kodlama türleri dörde ayrılır;

1. Veri Sıkıştırma
2. Kanal kodlama
3. Gizlilik Kodlama
4. Hat Kodlama

### 1. Veri Sıkıştırma (Kaynak Kodlama)

Verimlilik esasına dayalı olarak kaynak simgelerinin en düşük yapıda nasıl temsil edileceği problemidir. ASCII kodlaması kaynak kodlamaya en temel örnek olarak verilebilir. Her bir karakteri 8 bitlik byte'a çevirir.

### 2. Kanal Kodlama (Hata Düzeltme)

Kaynak simgelerinin birbirlerinden uzak olacak şekilde nasıl gösterileceği problemidir. Meydana gelebilecek küçük değişikliklere(gürültü) rağmen sonuçta değişen simgelerin fark edilmesi ve hataları düzeltebilmesi mümkün olmaktadır. Hamming Kodlar, Reed Solomon Kodlar, BCH kodlar, Reed Müller kodlar vs.

### 3. Gizlilik Kodlama(Şifreleme-Kriptografi)

Şifreleme bunlardan farklı olarak gönderilen veriyi çeşitli algoritmalara göre bir anahtar ile karmaşık hale getirmektir. Böylece kanal boyunca iletilen kod sözcüklerinin bozulmaya uğrama oranları azalır. Örneğin RSA, DES, AES gibi şifreleme algoritmaları bunlara örnek verilebilir.

### 4. Hat Kodlama

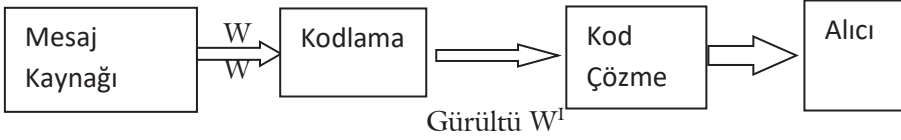
İletim ortamının özelliklerine göre iletilecek olan işareti uygun hale getirip, bozucu dış etkenlerden minimum düzeyde etkilenebilecek şekilde ve en az bant genişliği kullanabilecek biçimde oluşturma işlemidir.



Kodlar, verimli ve güvenilir bir şekilde veri aktarım yöntemlerinin oluşturulması amacıyla çeşitli bilimsel disiplinler tarafından incelenir. Birçok bilim dalında kodlama teorisi önemli bir yere sahiptir. Bunlardan bazılarını şöyle sıralayabiliriz:

- Matematik
- Bilgisayar Bilimleri,
- Bilgi Teorisi,
- Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- Haberleşme alanında

**Basit bir haberleşme sistemi şu şekilde gösterilebilir;**



**Şekil 1. Hata Doğrulama**

Günlük hayatın vazgeçilmez bir bütünü haline gelen iletişim sistemlerinde, hatasız ve hızlı bilgilerin iletiminin gerekliliği önemli bir konu olarak karşımıza çıkar. Haberleşme sistemlerinde bilgilerin iletilmesi için vericiden gönderilen mesaj işareti, işaretin gönderildiği kanaldan ve ayrıca verici ile alıcı devrelerinden kaynaklı olacak şekilde işareti bozucu dış etkilerden dolayı, bozulmaya uğrar ve dolayısıyla alıcıdan gönderilenden farklı bir bilgi alınabilir. Bu durum haberleşme sisteminin hatalı mesaj göndermesi olarak ifade edilir. Kodlama teorisinin amacı, dijital bilginin iletilmesi veya saklanması esnasında oluşabilecek hataları tespit etmek, eğer hatalar oluşmuş ise bu hataları düzeltmektir.

## 2. GOLAY KODLAR

Golay Kodlar 1940'ların sonlarında Marcel J.E. Golay tarafından keşfedilmiştir. Marcel Golay matematiğin gerçek dünyadaki uygulamalarına yaptığı katkılarla tanınan başarılı bir matematikçi ve bilgi teorisyenidir. Golay mükemmel kodları aradı. Matematikçilerin çok ilgisini çeken mükemmel kodlar en iyi kodlar olarak adlandırılır. Golay kodları da mükemmel kod örnekleridir. Görünüşe göre Golay Kodları ikili ve üçlü kodların olması anlamında esasen benzersizdir. Onlarla aynı parametrelerle onlara eşdeğer gösterilebilirler.

**Tanım2.1 ([4]) :**  $G$ ,  $12 \times 24$  matris olsun.

$$G = (I_{12} / A)$$

$I_{12}$   $12 \times 12$  birim matris ve  $A$   $12 \times 24$  matris olsun. Üreteç matrisi  $G$  olan ikili doğrusal koda genişletilmiş ikili Golay Kodu denir ve  $G_{24}$  ile gösterilir. Aynı zamanda üreteç  $G$  matrisli doğrusal koda denk olan diğer tüm kodlara da genişletilmiş ikili Golay Kodu denir. Burada  $A$  matrisi şu şekildedir.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Genişletilmiş ikili Golay Kodu Nasa tarafından yürütülen Voyager programı kapsamında kullanıldı. Voyager1 ve Voyager2 uzay araçları 1977 de Jüpiter ve Satürn'e doğru fırlatılmış olup gezegenlere ait uyduların ayrıntılı fotoğraflarını elde eden ilk çalışma olmuştur. Voyager günümüzde Dünya'ya veri iletmek amacıyla düzenli ve etkin biçimde komutları almak için derin uzay ağı ile iletişim kurmaya devam etmektedir.

**Önerme 2.1 ([4]):**Genelleştirilmiş ikili Golay Kodun özellikleri;

- i.  $G_{24}$ 'ün uzunluğu 24 ve boyutu 12'dir.
- ii.  $G_{24}$  için bir parite kontrol matrisi  $12 \times 24$  matrisidir.  
 $H = (A / I_{12})$
- iii.  $G_{24}$  kodu bir kendi-dual koddur. Yani;  
 $G_{24}^\perp = G_{24}$
- iv.  $G_{24}$  için başka bir eşlik kontrol matrisi  $12 \times 24$  matrisidir.  
 $H' = (I_{12} / A) (= G)$
- v.  $G_{24}$  için başka bir üreteç matrisi  $12 \times 24$  matrisidir.  
 $G' = (A / I_{12}) (= H)$
- vi.  $G_{24}$ ' teki her kod sözcüğünün ağırlığı 4'ün katıdır.

**vii.** Ağırlığı 4 olan kod sözcüğü  $G_{24}^c$  de yoktur. Bu nedenle  $G_{24}^c$ 'ün mesafesi  $d=8$  dir.

**viii.**  $G_{24}$  kodu tam olarak üç hata düzeltme kodudur.

**Kanıt ([4]):**

**i.** Tanımdan anlaşılmaktadır.

**ii.** Teorem: Eğer  $G = (I_k/X)$  standart form oluşturucu matris ise  $[n,k]$ -kodu  $C$  ise o zaman  $C$  için bir parite kontrol matrisi  $H = (X^T/I_{n-k})$  olur.

İspat:  $H \cdot G^T = 0$  denklemi sağlanır.

Son  $n - k$  koordinat dikkate alınarak  $H$  satırlarının doğrusal olarak bağımsız olduğu açıktır.

**iii.**  $G$  matrisinin satırlarının ortogonal (dik olduğuna) dikkat edelim yani;  $r_i$  ve  $r_j$  satırları için  $r_i \cdot r_j = 0$  dir. Bu  $G_{24}$  alt kümesi veya eşittir  $G_{24}^\perp$  anlamındadır.  $G_{24}$  ve  $G_{24}^\perp$  boyutları 12'dir.  $G_{24} = G_{24}^\perp$  dir.

**iv.**  $G_{24}'$ ün bir parite kontrol matrisi  $G_{24} = G_{24}^\perp$  'ün bir üretici matrisidir.  $G$  böyle bir matristir.

**v.**  $G_{24}'$ ün bir üretici matrisi  $G_{24} = G_{24}^\perp$  'ün bir parite kontrol matrisidir.  $H$  böyle bir matristir.

**vi.**  $vG$  de bir kod sözcüğü olsun.  $wt(v)$ 'nin 4'ün katı olduğunu göstermek istiyoruz.  $v$ 'nin  $G$ 'nin satırlarının lineer bir kombinasyonu olduğuna dikkat edelim.  $r_i$   $G$ 'nin  $i$ . satırını gösterebiliriz.

İlk olarak  $v$ 'nin  $G$ 'nin satırlarından biri olduğunu varsayalım.  $G$ 'nin ağırlığı 8 veya 12 olduğundan  $v$ 'nin ağırlığı 4'ün katıdır. Sonra  $v$   $G$ 'nin iki farklı satırının toplamı olsun.  $(r_i + r_j)r_i$  ve  $r_j$  ağırlıkları 4'e bölünebilir olduğundan  $(r_i + r_j)$  de 4'ün katıdır.

Bu şekilde tümevarımla devam edilerek ispatı bitirebiliriz.

**vii.**  $G$ 'nin son satırının ağırlığı 8 olan bir kod sözcüğü olduğuna dikkat edelim. Bu gerçeğe birlikte önermenin (vi). ifadesi ile  $d=4$  veya 8 olduğunu ima eder.

$G_{24}$  'ün  $wt(v) = 4$  olan sıfır olmayan bir  $v$  kod sözcüğü içerdiğini varsayalım.  $v$ 'yi  $(v_1 + v_2)$  olarak yazalım. Burada  $v_1$  ilk 12 koordinattan oluşan (12 uzunluğunda) vektördür ve  $v_2$ , son 12 koordinattan oluşan (12 uzunluğunda) vektördür. O zaman aşağıdaki durumlardan biri gerçekleşmelidir.



Durum 1:  $wt(v_1) = 0$  ve  $wt(v_2) = 4$  olsun. (Ağırlık 0 ve 4)

Bu muhtemelen olamaz çünkü, üretç matrisi  $G'$ ye bakıldığında bu türden tek kelime 0'dır ağırlık 0'dır.

Durum 2:  $wt(v_1) = 1$  ve  $wt(v_2) = 3$

Bu durumda yine  $G'$  ye bakılarak  $v$ ,  $G'$  nin satırlarından biri olmalıdır ki; Bu da yine bir çelişkidir.

Durum 3:  $wt(v_1) = 2$  ve  $wt(v_2) = 2$

O halde  $v$ ,  $G'$  nin iki satırının toplamıdır. Bu tür toplamlarda hiçbirinin  $wt(v_2) = 2$  vermediğini kontrol etmek kolaydır.

Durum 4:  $wt(v_1) = 3$  ve  $wt(v_2) = 1$

$G'$  bir üretç matrisi olduğundan  $v$   $G'$  nin satırlarından biri olmalı, bu açıkça çelişki veriyor.

Durum 5:  $wt(v_1) = 4$  ve  $wt(v_2) = 0$

Bu durumda  $G$  yerine  $G'$  kullanılıncaya kadar durum 1'e benzer.

Tüm bu durumlarda çelişkiler elde ettiğimiz için  $d=4$  imkânsızdır. Böylece  $d=8$  olur.

**viii.** Teorem: Bir  $C$ -Kodu, ancak ve ancak  $d(C) \geq 2v + 1$  ise  $v$ -hatası düzelticidir. Yani;  $d$  mesafesine sahip bir kod tam olarak  $(d - 1)/2$  hata düzeltme kodudur. Dolayısıyla tam olarak 3 hata düzeltme kodudur.

**Tanım 2.2 :**  $\hat{G}$  ;  $12 \times 23$  matris olsun.

$$\hat{G} = (I_{12}/\hat{A})$$

Burada  $I_{12}$ ;  $12 \times 12$  birim matristir.

$\hat{A}$ ,  $A$ 'nın son sütunu silinerek elde edilen  $12 \times 11$  'lik matristir. Üreteç matrisi  $\hat{G}$  olan ikili doğrusal koda bir ikili Golay Kodu adı verilir.  $G_{23}$  ile gösterilir.

$G_{24}$ ' te ki her kod kelimesinin son koordinatı silinerek elde edilen ikili Golay Kodu alternatif kod olarak tanımlanabilir.

**İkili Golay Kodun Özellikleri**

- i.  $G_{23}$ 'ün uzunluğu 23 ve Boyutu 12'dir.
  - ii.  $G_{23}$  için bir parite kontrol matrisi  $11 \times 23$  matris
- $$\hat{H} = (\hat{A}^T / I_{11})$$
- iii.  $G_{23}$ 'ün genişletilmiş kodu  $G_{24}$ 'tür.
  - iv.  $G_{23}$ 'ün mesafesi  $d=7$  dir.
  - v.  $G_{23}$  kodu tam olarak üç hata düzeltme kodudur.

## Üçlü Golay Kod

**Tanım 2.3 :** B'nin  $6 \times 6$  'lık matris olduğu, üreteç matrisi  $G = (I_6/B)$  olan üçlü doğrusal kod olarak  $G_{12}$ 'den genişletilmiş koda üçlü Golay Kod denir.

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 2 & 2 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

**Not:** Yukarıdaki koda denk olan herhangi bir doğrusal kod genişletilmiş üçlü Golay Kodu olarak da anılır.

**Tanım 2.4 :** Üçlü Golay Kodu  $G_{11}$ ,  $G_{12}$ 'yi son koordinatta delerek elde edilen koddur.  $G_{11}$  'in Hamming sınırını karşıladığını ve bu nedenle mükemmel bir üçlü  $[11, 6, 5]$  kodlu olduğunu doğrulayabiliriz.

## Mükemmel Kodlar

**Tanım 2.5 ([9]):** Eğer  $q$ 'lu bir kod Hamming sınırına ulaşabilirse yani;

$$M = \frac{q^n}{V_q^n\left(\frac{d-1}{2}\right)}$$

Eşitliğini sağlayan kodlara mükemmel kod denir.

Mükemmel olan üç tane ikili kod vardır. Bunlar; Tekrarlı Kod, Hamming Kodları ve Golay Kodlardır.

**Lemma 2.1 ([9]) :**  $G_{23} = [23,12,7]$  parametrel kod, mükemmel koddur.

**Kanıt ([9]) :**  $M = \frac{2^n}{V_2^n(3)}$  eşitliği sağlanırsa bu kod mükemmeldir.

$$V_2^n(3) = \binom{23}{0} + \binom{23}{1} + \binom{23}{2} = 1 + 23 + 253 + 1771 = 2048 = 2^{11}$$

$$M = 2^{12} = \frac{2^{23}}{2^{11}} = \frac{2^n}{V_2^n(3)}$$

Böylece  $G_{23}$  kodu mükemmeldir.

## 3. HAMMING KODLAR

Richard Hamming tarafından 1940'lı yılların sonunda icat edilen Hamming Kod linear hata düzelten bir koddur. Hamming Kodları tek bitlik hataları saptayıp düzeltebilirken iki bitlik hataları da tespit edebilir. Her veri kelimeleri üzerinde bir çok sayıda eşitlik denetimi gerçekleştirilerek Hamming Kodlama yapılır. Eşitlik denetimine ilişkin ek bitler veri kelimesi ile birlikte gönderilir. Herhangi bir  $GF(q)$  sonlu cismi üzerinde tanımlanabilmektedir. Hamming kodu en uygun biçimde, eşlik-denetim (parity-check) matrisi ile belirtilir.

**Tanım 3.1 ([6]):**  $r$ , sıfırdan büyük bir tam sayı ve  $H$ ; sütunları,  $(F_q)^n$  in vektörleri sıfırdan farklı olan bir  $r \times (2^r - 1)$  şeklinde matris olsun.  $H$  eşlik denetim matrisi olan bir koda, ikili (binary) Hamming kodu denir. Ham  $(r, 2)$  ile gösterilir.

1. Ham  $(r, 2)$  kodunun uzunluğu  $n = 2^r - 1$  , boyutu  $k = n - r$  şeklindedir. Burada  $r = n - k$  , her bir kod sözcüğündeki kontrol sembollerinin sayıdır.
2.  $H$  nin sütunları karışık bir sırada alınabileceğinden, verilen  $r$  tane tamsayı için Ham  $(r, 2)$  kodu, denk koddan biridir.
3. İkili Hamming Ham  $(r, 2)$  kodu, bir  $[2^r - 1, 2^r - 1 - r, 3]$  koddur.

**Teorem 3.1 ([6]) :** İkili Hamming Kod Ham  $(r, 2)$ ,  $r \geq 2$  için;

1. Bir  $[2^r - 1, 2^r - 1 - r]$  - koddur.
2. Minimum uzaklığı 3'tür. (Bu yüzden tek hata düzeltir.)
3. Bir yetkin koddur.

**Örnek 3.1 :**  $r = 3$  için Ham(3,2) yi oluşturalım.

$(GF(2))^3$  sıfırdan ve birbirlerinden farklı vektörlerini sütunlara yazarak bir  $H$  matrisi oluşturalım.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 7} \quad \text{olsun bu matriste elementer satır}$$

işlemleri yaparak  $H$  matrisini standart formda yazalım.

$$H = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 7} \xrightarrow{r_1 \rightarrow r_1 + r_2} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{r_3 \rightarrow r_1 + r_3} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{r_2 \rightarrow r_2 + r_3} \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ olur.}$$

Buna göre;

$$-A^T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{3 \times 4}, \quad A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 3}$$

Olur. Buradan,

$$G = [I_k/A] = [I_4/A] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{4 \times 7}$$

Matrisini buluruz. Böylece Ham(3,2) bir [7,4,3]-koda denktir.

**Örnek 3.2 :**  $r = 3$  alınırsa

$$(2^3 - 1, 2^3 - 1 - 3, 3) = (7, 4, 3) \quad \text{Kodu elde edilir.}$$

Bu kodun Hamming sınırı hesaplanırsa

$$2^4 \sum_{i=0}^1 \binom{7}{i} = 2^4 (1 + 7) = 2^7$$

Bu durumda (7,4,3) Hamming kodu mükemmel bir koddur.

**Örnek 3.3 :** 11000100 sekiz bitlik veri sözcüğümüz olsun. Hamming Kodların parity-check bitleri bulunarak nasıl hesaplandığını ve hatayı nasıl tespit ettiklerini gösterelim. İlk olarak kaç parity bitimizin olduğunu bulalım;

$m + r + 1 \leq 2^r$  ( $m$  verimizin kaç bitlik olduğunu temsil ederken  $r$  ise kaç parity bit kullanacağımızı temsil eder)

$$8 + r + 1 \leq 2^r$$

$$9 + r \leq 2^r$$

$r = 4$  (kaç parity bit olacağını ifade eder.)

Şimdi de kod kelimenin kaç bitli olacağını bulalım;

$$n = m + r$$

$$n = 8 + 4$$

$n = 12$  (Hatayı bulmak için gönderilen kod kelimenin bit sayısıdır.)

Part bitlerimiz  $2^n$  şeklinde yazılabilecek yerlerde bulunmalı.

$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{11}$	$p_{12}$
?	?	1	?	1	0	0	?	0	1	0	0

$$2^0 \quad 2^1 \quad 2^2 \quad 2^3$$

$$p_1 = (3,5,7,9,11) = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$p_2 = (3,6,7,10,11) = 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$p_4 = (5,6,7,12) = 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

$$p_8 = (9,10,11,12) = 0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 = 1$$

001110010100 bu 12 bitlik veri bizim yeni verimizdir.

$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$	$p_6$	$p_7$	$p_8$	$p_9$	$p_{10}$	$p_{11}$	$p_{12}$
0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0

$$2^0 \quad 2^1 \quad 2^2 \quad 2^3$$

Şimdide check bitlerimizi bulacağız;

$$c_1 = (1,3,5,7,9,11) = 0 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$c_2 = (2,3,6,7,10,11) = 0 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$c_4 = (3,4,5,9,10,11) = 1 \oplus 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 1 \oplus 0 = 0$$

$$c_8 = (4,5,6,7,12) = 1 \oplus 1 \oplus 0 \oplus 0 \oplus 0 = 0$$

$$C = c_8 c_4 c_2 c_1 \Rightarrow 0000 ; \quad C = 0 \text{ Olduğundan hata yoktur.}$$

Eğer  $C \neq 0$  Hata vardır.  $C$ 'nin değeri hatanın yerini gösterir.

Örneğin  $C = 0101$  olsaydı  $2^2 + 2^0 = 5$ 'tir. Bu da bize 5. bitte hata olduğunu gösterirdi.

**Teorem3.2 :**  $GF(q)$  üzerinde eşlik- denetim matrisi  $H$  olan bir doğrusal kod,  $C$  olsun.  $C$ 'nin en küçük mesafesinin (uzaklığının)  $d$  olması için gerek ve yeter koşul;  $H$  nin sütunlarından seçilen her  $(d - 1)$  tane sütununun determinantı sıfırdan farklı yani lineer bağımsız, fakat lineer bağımlı  $d$  tane sütunun var olmasıdır.

### Ham $(r, q)$ nun Oluşturulması

Lineer bir  $[n, n - r, 3]$  şeklinde kod kurmaya çalışalım.

Burada  $d = 3$  alınmıştır. Yani  $C$ 'nin, minimum mesafesi 3 olan bir kod olması için,  $H$  nin her sütun ikilisi,  $(d - 1 = 3 - 1 = 2 \text{ olduğundan})$  lineer bağımsız olmak zorundadır. O zaman  $H$  nin sütunları sıfırdan farklı ve biri, diğerinin skaler katı olmamalıdır. (Skaler dediğimiz,  $GF(q)$  nun elemanlarıdır.)

$(F_q)^r = (GF(q))^r$  nin  $q^r - 1$  tane elemanı sıfırdan farklıdır. Bunlar içerisinde; biri diğerinin skaler katı olmayanların sayısı ise,  $\frac{q^r-1}{q-1}$  'dir.

$\frac{q^r-1}{q-1}$  tane vektör, sütunlara yazılarak  $H$  matrisi oluşturulur.

**Örnek 3.4 :** Ham  $(2, 7)$  için;

$r = 2$ ,  $q = 7$  dir.

$$\frac{q^r - 1}{q - 1} = \frac{7^2 - 1}{7 - 1} = 8$$

Tane, birbirlerinin skaler katı olmayacak, sıfırdan farklı vektör vardır. Bunlar Sütunlara yazılarak  $H$  matrisini oluştururuz.

$$\begin{aligned} H &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix} \xrightarrow{r_1 \rightarrow r_1 + r_2} \\ &= \begin{bmatrix} 1 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix} \xrightarrow{r_1 \rightarrow (-1)r_1} \\ &= \begin{bmatrix} 6 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix} \xrightarrow{r_2 \rightarrow (-1)r_2} \\ &= \begin{bmatrix} 6 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 6 & 0 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 \end{bmatrix} \xrightarrow{r_2 \rightarrow r_2 - 2r_1} \\ &= \begin{bmatrix} 6 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 & 1 & 0 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 0 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Buradan;

$$\begin{aligned} -A^T &= \begin{bmatrix} 6 & 6 & 5 & 4 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{bmatrix} \\ -A &= \begin{bmatrix} 6 & 1 \\ 6 & 2 \\ 5 & 3 \\ 4 & 4 \\ 3 & 5 \\ 2 & 6 \end{bmatrix}, \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 6 \\ 1 & 5 \\ 2 & 4 \\ 3 & 3 \\ 4 & 2 \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

Matrisleri elde edilir.

$$G = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \\ 2 & 3 \\ 3 & 4 \\ 4 & 5 \\ 5 & 6 \end{bmatrix}_{4 \times 6} \text{ şeklindedir.}$$

## KAYNAKÇA

- [1] M. J. E. Golay, "Notes on digital coding," Proceedings of the IRE, vol. 37, no. 6, p. 657, 1949.
- [2] E. R. Berlekamp, "Decoding the Golay code," JPL Technical Report, vol. 32-1526, pp. 81-85, 1972.
- [3] Raymond Hill, "A First Course in Coding Theory", Oxford Univ Press, 1986.
- [4] S. Ling and Chaoping Xing "Coding Theory A First Course", Cambridge Univ Press, 2004.
- [5] S. Roman, "Coding and Information Theory", Graduate Text in Mathematics, Springer Verlag, 1992.
- [6] M. ÖZKAN and F. ÖKE "On Gray Images of Constacyclic Codes" ITM Web of Conf., Volume: 22, pp: 01047-1-6, doi : 10.1051/itmconf/20182201047, 2018.
- [7] J. Hamkins, "The Golay Code Outperforms the Extended Golay Code Under Hard-Decision Decoding" ,arXiv:1602.05620v1, arXiv. Org, 2018.
- [8] M. Özkan, B. Yenice and A. T. Güroglu "Constacyclic and Negacyclic Codes over  $F_2 + uF_2 + vF_2$  and their Equivalents over  $F_2$ " Fundamental Journal of Mathematics and Applications (FUJMA), Vol :5 (4), pp: 228-233, ISSN: 2645-8845, doi:10.33401/fujma.1124502,2023.
- [9] İ.Kalkan 'Rank Metric and Codes 'Graduate Text in Mathematics 2012.

# Genetic Engineering and Biotechnology: An Overview of The Principles That Define Genetic Engineering

Orhan Uluçay<sup>1</sup>

Nurcan Koç<sup>2</sup>

## Abstract

Genetic engineering and biotechnology intersect in many ways. Both have been used, albeit unknowingly, since ancient times. For example, between 8000-1000 BCE, animals such as horses, camels, and various crops like maize and wheat were domesticated by the people of that era. After domestication, they started crossbreeding the animals and crops for better yields. For instance, they crossed a cow with high milk yield with a cow with high strength to obtain cows that produced more milk and were stronger. Similarly, by crossing high-yielding wheat with drought-resistant wheat, they obtained more productive crops that could withstand drought. Not only the ancient Romans or Greeks but also the Indians began conducting similar experiments. As a result of these studies, the concept of genetics emerged in the 1st century CE. In the 19th century, Mendel made significant contributions, firmly establishing the concepts of genes and genetics. From the 19th century to the present, numerous studies have been conducted to develop genetic engineering and biotechnology, shaping them into what they are today.

Genetic engineering and biotechnology have revolutionized various aspects of scientific research, agriculture, medicine, and industry. This field encompasses the manipulation of genetic material to alter the characteristics of organisms or to create new biological entities. In this paper, we provide a general overview of the principles that define genetic engineering, focusing on its core concepts, techniques, and applications.

---

1 Dr. Öğr. Üyesi, Kafkas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Orcid: 0000-0002-0820-5372

2 Kafkas Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Orcid: 0009-0003-1660-8168



## **1. Genetic Engineering and Its Principles**

Genetic engineering is a branch of science that modifies the hereditary traits of an organism's genetic material through natural means or laboratory cloning (Uzogara, 2000). Its goal is to introduce new functions to the genetic material found in organisms, such as transferring, replicating, or correcting genes (Uluçay, Gormez, & Ozic, 2022). For example, through genetic engineering, a plant can be made tolerant to salt. This genetically modified plant can then be cultivated in soil with a high salt content (Khoo et al., 2023). Another example is engineering plants that are resistant to pathogens (such as insects, fungi, or parasites) to make them healthier and more productive. Similarly, genetic engineering can be applied to animals to develop those that produce higher quantities of meat or milk, or are more resistant to diseases (Kumar, Srivastava, & Prasad, 2023).

### **1.1. Types of Genetic Modifications**

There are several types of genetic modifications that can be made in genomes. These include specific targeting of locations within the genome, changes involving the deletion, insertion, or alteration of DNA sequences, and more (Sufyan et al., 2023). Specific targeting of chromosomal segments can be used to knock out gene expression. Deletion of short chromosomal segments can eliminate elements that affect gene expression, activate gene expression, or modify the structure and function of proteins by altering coding sequences. Modifying DNA sequences on the genome can impact gene function or product, such as activating or inhibiting gene function in the phenotypic or product-level effects of a new gene like the lacZ gene (Fraser, Davis, & Hynes, 2001). Making major changes, such as altering the position of an antibody's DNA in mice to match that in humans, involves stem cell technology and results in "humanized" mice. Small changes can also be used to model mutations that cause or are suspected to cause human diseases.

### **1.2. Genetic Engineering with CRISPR/Cas9**

In the CRISPR/Cas9 system, Cas9 and sgRNA are fundamental concepts for genome editing (Bhatt & Challa, 2018). The sgRNA identifies the target region, while Cas9 contributes to the DNA cleavage at the designated target region. This system is widespread in bacteria and various organism species. Moreover, Cas9 optimized with suitable codons has shown high activity in eukaryotes such as human and mouse cells (Ma, Zhang, & Huang, 2014). To advance the system, the target gene and its final allele are first

determined. Then, sgRNAs are selected to induce chromosomal breaks. To minimize off-target effects in the CRISPR/Cas9 system, careful selection of the target is necessary, and Cas9 and sgRNA concentrations should be reduced (Hajiahmadi et al., 2019).

## **2. Biotechnology and Its Applications**

Biotechnology is a broad field that encompasses the use of living organisms or their components to develop or create products, processes, or technologies that have practical applications (Holzinger, Keiblinger, Holub, Zatloukal, & Müller, 2023). It involves harnessing biological systems and processes to improve various aspects of human life, including agriculture, medicine, industrial production, and environmental sustainability (Santomartino et al., 2023).

### **2.1. Agricultural Biotechnology**

Agricultural biotechnology focuses on improving crops and livestock for increased yield, enhanced nutritional value, and resistance to pests, diseases, and environmental stresses (Sakiroglu et al., 2011). Genetic engineering plays a crucial role in this field by introducing desirable traits into plants and animals. For example, genetically modified crops like Bt cotton have been developed to resist insect pests, reducing the need for chemical pesticides (Kedisso et al., 2023). Biotechnology also enables the development of crops with improved nutritional content, such as biofortified crops that are rich in vitamins and minerals.

### **2.2. Medical Biotechnology**

Medical biotechnology encompasses the use of biological processes and organisms to develop new treatments, diagnostics, and therapies for human health (Sanvicens & Marco, 2008). It includes the production of pharmaceutical drugs, gene therapies, vaccines, and diagnostic tools. Genetic engineering techniques are employed to produce therapeutic proteins, such as insulin for diabetes treatment and growth factors for stimulating tissue regeneration (Khan et al., 2016). Biotechnology also plays a significant role in the development of personalized medicine, where treatments are tailored to an individual's genetic makeup (Petersen, 2009).

### **2.3. Industrial Biotechnology**

Industrial biotechnology utilizes biological systems and processes to produce industrial products and chemicals in a more sustainable and

environmentally friendly manner (Erickson & Winters, 2012). It involves the use of microorganisms or enzymes to perform specific reactions for the production of biofuels, bioplastics, enzymes, and other bio-based products. Genetic engineering allows for the optimization of microorganisms or the modification of their metabolic pathways to enhance their productivity and efficiency (Quintana, Van der Kooy, Van de Rhee, Voshol, & Verpoorte, 2011).

## **2.4. Environmental Biotechnology**

Environmental biotechnology focuses on using biological processes to address environmental challenges and promote sustainability (Kalogerakis et al., 2015). It includes applications such as bioremediation, where microorganisms are employed to degrade pollutants and clean up contaminated sites. Genetic engineering can be used to enhance the capabilities of microorganisms for more effective and targeted remediation. Additionally, biotechnology plays a role in the development of renewable energy sources, such as biofuels derived from biomass (Ulucay, Gormez, & Ozic, 2021).

## **3. Ethical Considerations**

Genetic engineering and biotechnology raise ethical considerations that must be carefully addressed. Some of the key ethical concerns include:

### **3.1. Safety**

The safety of genetically modified organisms (GMOs) and products derived from biotechnology is a significant concern. Adequate testing and risk assessments are necessary to ensure that GMOs do not pose risks to human health or the environment (Premanandh, 2011).

### **3.2. Environmental Impact**

The release of genetically modified organisms into the environment can have unintended consequences, such as the potential for gene flow to wild populations or the disruption of ecological balances. Strict regulations and monitoring are necessary to minimize these risks (Prakash, Verma, Bhatia, & Tiwary, 2011).

### **3.3. Social and Economic Implications**

Biotechnology can have profound social and economic implications, particularly in areas such as agriculture and healthcare (Tyczewska,

Twardowski, & Woźniak-Gientka, 2023). Issues related to access, affordability, and equitable distribution of biotechnological products and technologies must be addressed to ensure that they benefit all segments of society.

### **3.4. Informed Consent and Labeling**

Consumers have the right to be informed about the presence of GMOs in food products to make informed choices. Labeling regulations and transparency in the communication of genetic engineering practices are essential to uphold this right (Jin, Li, Naab, Coles, & Frewer, 2023; Mohan, 2023).

### **3.5. Genetic Engineering and Human Enhancement**

The ability to modify the human genome raises ethical questions regarding the boundaries of genetic engineering (Sandler, 2020). The pursuit of human enhancement, such as enhancing physical or cognitive abilities beyond normal limits, raises concerns about equity, fairness, and the potential creation of societal divisions based on genetic advantages.

### **3.6. Privacy and Genetic Information**

The increasing availability of genetic information raises concerns about privacy and data protection. As individuals' genetic data becomes more accessible, there is a need for strict regulations to ensure the confidentiality and secure storage of genetic information to prevent potential misuse or discrimination based on genetic predispositions (Clayton, Evans, Hazel, & Rothstein, 2019).

### **3.7. Access and Equity**

Biotechnological advancements should be accessible to all segments of society to ensure equitable distribution of benefits. However, issues related to affordability, availability, and access to biotechnological interventions can create disparities in healthcare and exacerbate existing social inequalities.

### **3.8. Environmental Impacts**

Biotechnological applications, such as genetically modified organisms (GMOs), can have unintended environmental consequences. It is important to conduct thorough risk assessments and consider the long-term ecological impacts before releasing genetically modified organisms into the environment (Maghari & Ardekani, 2011).

### **3.9. Informed Consent**

In research involving human subjects, informed consent is crucial to protect participants autonomy and ensure they have a clear understanding of the potential risks and benefits (Rossfeld, Cloyd, Palmer, & Pawlik, 2020). It is essential to uphold ethical standards and obtain informed consent when conducting research involving genetic information or experimental treatments.

In conclusion, genetic engineering and biotechnology offer tremendous potential for improving various aspects of human life. However, careful consideration of ethical, safety, and regulatory aspects is crucial to ensure their responsible and sustainable implementation (Bruce & Bruce, 2014).

## **4. Current Trends in Biotechnology**

### **4.1. CRISPR-Cas9 Technology**

CRISPR-Cas9 is a revolutionary gene-editing technology that has transformed the field of biotechnology. It allows scientists to make precise modifications to an organism's DNA, opening up new possibilities for genetic research, disease treatment, and agricultural improvements. CRISPR-Cas9 has gained significant attention due to its efficiency, affordability, and versatility in a wide range of applications (Rissberger, 2021).

### **4.2. Synthetic Biology**

Synthetic biology combines biology, engineering, and computer science to design and construct new biological parts, devices, and systems that do not exist in nature (Andrianantoandro, Basu, Karig, & Weiss, 2006). It involves the engineering of genetic components and metabolic pathways to create novel biological functions or organisms with desired properties. Synthetic biology has the potential to revolutionize areas such as drug production, biofuel synthesis, and environmental remediation (Tong & Zhang, 2023).

### **4.3. Personalized Medicine**

Advancements in biotechnology have paved the way for personalized medicine, where medical treatments are tailored to an individual's genetic profile. Through the analysis of an individual's genes, doctors can determine the most effective treatments and dosages, reducing the risk of adverse reactions and increasing treatment efficacy. Personalized medicine has the potential to revolutionize healthcare by providing more targeted and precise interventions (Liao, Xiao, & Wang, 2023).

#### **4.4. Bioinformatics**

Bioinformatics involves the application of computer science, statistics, and mathematics to analyze and interpret biological data. With the increasing availability of genomic data, bioinformatics plays a crucial role in deciphering complex biological information, identifying genes associated with diseases, predicting protein structures, and understanding biological networks. It enables researchers to gain insights into genetic variations, disease mechanisms, and drug discovery (Rawat et al., 2023; Varshney, Bharti, Sundram, Malviya, & Fuloria, 2023).

#### **4.5. Nanobiotechnology**

Nanobiotechnology combines nanotechnology with biotechnology to create innovative tools and devices for various applications. Nanoscale materials and structures can be engineered to interact with biological systems at the molecular level, enabling targeted drug delivery, sensitive diagnostic methods, and precise imaging techniques. Nanobiotechnology has the potential to revolutionize healthcare, environmental monitoring, and energy production (Maurya, Mukherjee, & Ranjan, 2023; Soni et al., 2023).

### **5. Future Prospects**

The field of biotechnology continues to evolve rapidly, and several areas hold great promise for the future:

#### **5.1. Gene Therapy**

Gene therapy aims to treat or prevent diseases by introducing or modifying genes within a person's cells. Recent advancements, including CRISPR-Cas9, have opened up new possibilities for precise and efficient gene editing, bringing gene therapy closer to becoming a viable treatment option for a wide range of genetic disorders (Arabi, Mansouri, & Ahmadbeigi, 2022).

#### **5.2. Stem Cell Research**

Stem cells have the potential to differentiate into various cell types, offering tremendous possibilities for regenerative medicine. Ongoing research aims to harness the potential of stem cells to repair damaged tissues, develop organ replacements, and advance our understanding of developmental biology and disease mechanisms (Mimeault, Hauke, & Batra, 2007).

### **5.3. Sustainable Biotechnology**

As sustainability becomes increasingly important, biotechnology can contribute to more sustainable practices. This includes the development of bio-based materials, renewable energy sources, and environmentally friendly manufacturing processes (Hatti-Kaul, Törnvall, Gustafsson, & Börjesson, 2007). Biotechnology can help reduce our dependence on fossil fuels, minimize waste generation, and mitigate the impact of human activities on the environment (Uluçay, 2023).

### **5.4. Neurobiotechnology**

The intersection of biotechnology and neuroscience, known as neurobiotechnology, holds promise for understanding the complexities of the human brain and developing treatments for neurological disorders (Fitzgerald, 2017). Advancements in techniques for studying the brain, such as neuroimaging and optogenetics, along with the development of neural interfaces and neuroprosthetics, offer new avenues for research and potential therapies. In summary, the field of biotechnology is continually advancing, offering exciting prospects for various industries and fields.

### **Conclusion**

Biotechnology has the potential to revolutionize various aspects of our lives, from healthcare and agriculture to energy and environmental sustainability. With its ability to manipulate and harness biological systems, biotechnology offers tremendous opportunities for advancements and innovations.

However, as biotechnology progresses, it is essential to address the ethical considerations associated with its applications. Ethical frameworks and regulations should be in place to guide the responsible development and use of biotechnological interventions, ensuring equitable access, protecting privacy, and minimizing potential risks.

By balancing scientific progress with ethical considerations, we can harness the full potential of biotechnology to improve human well-being, address societal challenges, and create a sustainable future.

## References

- Andrianantoandro, E., Basu, S., Karig, D. K., & Weiss, R. (2006). Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline. *Molecular systems biology*, 2(1), 2006-0028.
- Arabi, E., Mansouri, V., & Ahmadbeigi, N. (2022). Gene therapy clinical trials, where do we go? An overview. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 153, 113324.
- Bhatt, J. M., & Challa, A. K. (2018). First year course-based undergraduate research experience (CURE) using the CRISPR/Cas9 genome engineering technology in zebrafish. *Journal of microbiology & biology education*, 19(1), 19-11.
- Bruce, D., & Bruce, A. (2014). *Engineering genesis: ethics of genetic engineering in non-human species*: Routledge.
- Clayton, E. W., Evans, B. J., Hazel, J. W., & Rothstein, M. A. (2019). The law of genetic privacy: applications, implications, and limitations. *Journal of Law and the Biosciences*, 6(1), 1-36.
- Erickson, B., & Winters, P. (2012). Perspective on opportunities in industrial biotechnology in renewable chemicals. *Biotechnology journal*, 7(2), 176-185.
- Fitzgerald, D. (2017). *Tracing autism: Uncertainty, ambiguity, and the affective labor of neuroscience*: University of Washington Press.
- Fraser, J. A., Davis, M. A., & Hynes, M. J. (2001). The formamidase gene of *Aspergillus nidulans*: regulation by nitrogen metabolite repression and transcriptional interference by an overlapping upstream gene. *Genetics*, 157(1), 119-131.
- Hajiahmadi, Z., Movahedi, A., Wei, H., Li, D., Orooji, Y., Ruan, H., & Zhuge, Q. (2019). Strategies to increase on-target and reduce off-target effects of the CRISPR/Cas9 system in plants. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(15), 3719.
- Hatti-Kaul, R., Törnvall, U., Gustafsson, L., & Börjesson, P. (2007). Industrial biotechnology for the production of bio-based chemicals—a cradle-to-grave perspective. *Trends in biotechnology*, 25(3), 119-124.
- Holzinger, A., Keiblinger, K., Holub, P., Zatloukal, K., & Müller, H. (2023). AI for life: Trends in artificial intelligence for biotechnology. *New Biotechnology*, 74, 16-24.
- Jin, S., Li, W., Naab, F. Z., Coles, D., & Frewer, L. J. (2023). Consumer attitudes toward novel agrifood technologies: a critical review on genetic modification and synthetic biology. *Present Knowledge in Food Safety*, 1004-1014.



- Kalogerakis, N., Arff, J., Banat, I. M., Broch, O. J., Daffonchio, D., Edvardsen, T., . . . López-de-Ipiña, K. (2015). The role of environmental biotechnology in exploring, exploiting, monitoring, preserving, protecting and decontaminating the marine environment. *New Biotechnology*, 32(1), 157-167.
- Kedisso, E. G., Guenther, J., Maredia, K., Elagib, T., Oloo, B., & Assefa, S. (2023). Sustainable access of quality seeds of genetically engineered crops in Eastern Africa-Case study of Bt Cotton. *GM Crops & Food*, 14(1), 1-23.
- Khan, S., Ullah, M. W., Siddique, R., Nabi, G., Manan, S., Yousaf, M., & Hou, H. (2016). Role of recombinant DNA technology to improve life. *International journal of genomics*, 2016.
- Khoo, K. S., Ahmad, I., Chew, K. W., Iwamoto, K., Bhatnagar, A., & Show, P. L. (2023). Enhanced microalgal lipid production for biofuel using different strategies including genetic modification of microalgae: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 96, 101071.
- Kumar, R., Srivastava, S., & Prasad, V. (2023). Genetic modification of crop plants with ribosome-inactivating protein genes for enhanced resistance to pathogens and pests. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 1-19.
- Liao, C., Xiao, S., & Wang, X. (2023). Bench-to-Bedside: Translational Development Landscape of Biotechnology in Healthcare. *Health Sciences Review*, 100097.
- Ma, Y., Zhang, L., & Huang, X. (2014). Genome modification by CRISPR/Cas9. *The FEBS journal*, 281(23), 5186-5193.
- Maghari, B. M., & Ardekani, A. M. (2011). Genetically modified foods and social concerns. *Avicenna journal of medical biotechnology*, 3(3), 109.
- Maurya, P., Mukherjee, M. D., & Ranjan, K. R. (2023). Role of nanobiotechnology in maintaining a hygienic environment for the livestock *Nanobiotechnology for the Livestock Industry* (pp. 61-81): Elsevier.
- Mimeault, M., Hauke, R., & Batra, S. K. (2007). Stem cells: a revolution in therapeutics—recent advances in stem cell biology and their therapeutic applications in regenerative medicine and cancer therapies. *Clinical Pharmacology & Therapeutics*, 82(3), 252-264.
- Mohan, B. (2023). New Trend of Patenting Genetically Modified Foods-Its Issues and Regulation. *J. Pat. & Trademark Off. Soc'y*, 103, 86.
- Petersen, A. (2009). The ethics of expectations: biobanks and the promise of personalised medicine. *Monash bioethics review*, 28(1), 22-33.
- Prakash, D., Verma, S., Bhatia, R., & Tiwary, B. N. (2011). Risks and precautions of genetically modified organisms. *ISRN Ecology*, 2011, 1-13.

- Premanandh, J. (2011). Global consensus–Need of the hour for genetically modified organisms (GMO) labeling. *Journal of Commercial Biotechnology*, 17, 37-44.
- Quintana, N., Van der Kooy, F., Van de Rhee, M. D., Voshol, G. P., & Verpoorte, R. (2011). Renewable energy from Cyanobacteria: energy production optimization by metabolic pathway engineering. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91, 471-490.
- Rawat, S., Chauhan, A., Malviya, R., Alam, M. A., Verma, S., & Fuloria, S. (2023). Advancement in Gene Delivery: The Role of Bioinformatics *Bioinformatics Tools and Big Data Analytics for Patient Care* (pp. 133-157): Chapman and Hall/CRC.
- Rissberger, E. N. (2021). The Future of Biotechnology: Accelerating Gene-Editing Advancements through Non-Exclusive Licenses and Open-Source Access of CRISPR-Cas9. *Santa Clara High Tech. LJ*, 38, 95.
- Rosfeld, K. K., Cloyd, J. M., Palmer, E., & Pawlik, T. M. (2020). Ethics (Informed consent and conflicts of interest). *Clinical Trials*, 17-31.
- Sakiroglu, M., İlhan, D., Kaya, M. M., Demirozogul, O., Uluçay, O., & Baris, E. (2011). Current Status of *Medicago sativa* L. Species Complex in the Light of Molecular Data. *Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 32-42.
- Sandler, R. (2020). The ethics of genetic engineering and gene drives in conservation. *Conservation Biology*, 34(2), 378-385.
- Santomartino, R., Aversch, N. J. H., Bhuiyan, M., Cockell, C. S., Colangelo, J., Gumulya, Y., . . . Mohanty, A. (2023). Toward sustainable space exploration: a roadmap for harnessing the power of microorganisms. *Nature communications*, 14(1), 1391.
- Sanvicens, N., & Marco, M. P. (2008). Multifunctional nanoparticles–properties and prospects for their use in human medicine. *Trends in biotechnology*, 26(8), 425-433.
- Soni, A., Bhandari, M. P., Tripathi, G. K., Bundela, P., Khiriya, P. K., Khare, P. S., . . . Sundaramurthy, S. (2023). Nano□biotechnology in tumour and cancerous disease: A perspective review. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 27(6), 737-762.
- Sufyan, M., Daraz, U., Hyder, S., Zulfiqar, U., Iqbal, R., Eldin, S. M., . . . Uzair, M. (2023). An overview of genome engineering in plants, including its scope, technologies, progress and grand challenges. *Functional & integrative genomics*, 23(2), 119.
- Tong, Y., & Zhang, L. (2023). Discovering the next decade's synthetic biology research trends with ChatGPT. *Synthetic and Systems Biotechnology*, 8(2), 220.

- Tyczewska, A., Twardowski, T., & Woźniak-Gientka, E. (2023). Agricultural biotechnology for sustainable food security. *Trends in biotechnology*.
- Ulucay, O., Gormez, A., & Ozic, C. (2021). Determination of Total Xylanase Activities of Various Thermophilic Bacteria. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 11(4), 3111-3118.
- Ulucay, O., Gormez, A., & Ozic, C. (2022). For biotechnological applications: Purification and characterization of recombinant and nanoconjugated xylanase enzyme from thermophilic *Bacillus subtilis*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 44, 102478.
- Uluçay, O. (2023). Microorganisms and Diversity of Bacteria. *Özgür Publications*, 185-203. doi:<https://doi.org/10.58830/ozgur.pub81.c476>
- Uzogara, S. G. (2000). The impact of genetic modification of human foods in the 21st century: A review. *Biotechnology Advances*, 18(3), 179-206.
- Varshney, S., Bharti, M., Sundram, S., Malviya, R., & Fuloria, N. K. (2023). The Role of Bioinformatics Tools and Technologies in Clinical Trials *Bioinformatics Tools and Big Data Analytics for Patient Care* (pp. 1-16): Chapman and Hall/CRC.

# The Evolution of Bézier Curves in Computer-Aided Geometric Design (CAGD): *A Systematic Review*

Seda Karateke<sup>1</sup>

Rumeysa Akalin<sup>2</sup>

Mehmet Gümüüş<sup>3</sup>

## Abstract

*Computer Aided Geometric Design (CAGD)* is a field of science that grows with the wind of technology behind it, developing day by day and enchanting us. It is an undeniable fact that the development process of this hot topic is based on mathematical foundations. At the core of this mathematical foundation lies the theory of Bézier curves. We conducted a study aiming to present the birth of Bézier curves, their historical development and especially their applications in the field of computer-aided geometric design with a rich spectrum. Another emerging field that we would like to draw your attention to here is *reverse engineering*. Discovering the function, structure and working principle of an object or system with an inferential reasoning method is included in the field of reverse engineering. At this point, it would be logical to say that the concepts of CAGD and reverse engineering support each other. We foresee that future researchers will contribute to the development and application process of Bézier curves, which are very useful in Computer Aided Design (CAD), CAGD and engineering, with different artificial intelligence-based algorithms and new tools. We see CAGD and other related fields as very bright and fruitful interdisciplinary fields that will culminate mathematician-engineer collaboration. This chapter presents a systematic review work referring to

---

<sup>1</sup> Dr. Öğr. Üyesi, Tez Eş Danışmanı, İstanbul Topkapı Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, sedakarateke@topkapi.edu.tr, Orcid: 0000-0003-1219-0115.

<sup>2</sup> Yüksek Lisans Öğrencisi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Matematik Ana Bilim Dalı, rum.akalin@gmail.com

<sup>3</sup> Doç. Dr., Tez Eş Danışmanı, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Matematik Bölümü, m.gumus@beun.edu.tr, Orcid: 0000-0001-7938-2918.

practice of Bézier curves theory and its solutions to the real-life problems in CAGD.

## Introduction

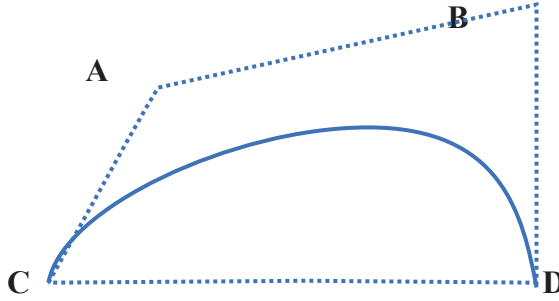
Computer-aided geometric design (CAGD) is a branch using computers to create, modify, optimize, and analysis of a design. Computer-aided drafting (CAD) and computer-aided design and drafting (CADD) are the other terms to be used in literature. CAD is used throughout the engineering process from the conceptual design of 2-dimensional (2D) and 3-dimensional (3D) models and products to their assembly. It is also ideal for designing many objects such as automobiles, jewellery, furniture, and also household appliances. In addition, today, many CAD applications are made use of open and commercial sources to obtain images with advanced animation and rendering capabilities [1-5].

If we go back to the beginning of its mathematical roots, Casteljau came up with an idea to solve the problems which he faced at Citroën in 1958. He based the result of his work on a new interpolation theory in 1959. In this theory, interpolation is generalized in a different way according to both the Hermitian method and Lagrangian-style points. The approximation of the arcs of the polynomials, regardless of their degree, is provided and some polynomials are reconstructed to a certain degree using a sufficient number of points. In addition, a new smoothing method has been found and this method has been more effective than the one described in terms of the classical least squares method. This theory of Casteljau has been modified for use in computer-aided design/computer-aided manufacturing (CAD/CAM) and has succeeded in pushing the limits of flexibility and adjustability, especially in human-machine interaction. After this pioneering work, contributions to the literature by engineers and researchers have continued [6].

Indeed, the most important discoveries in the history of CAGD are Bézier curves and surfaces. These theories were developed independently by P. Bézier at Renault and P de Casteljau at Citroën. Whole theory of polynomial curves and surfaces in the Bernstein form is named after Bézier. Also, after a conference at the University of Utah in 1974, CAGD became a discipline [1,7].

Bézier curves have been used widely in computer graphics (CG), geometric design (GD), and also image processing and other related areas. Bézier curves need to be replaced with polygons (see Fig.1.1) first for some applications such as collision detection, rendering, optimization, and curve fitting etc [8].

Since Bézier curves can be defined by a recursive algorithm developed by P de Casteljaou, we need to give a certain representation in the sense of theoretical background based on Bernstein polynomials.



*Figure 1. 1. A Bézier curve and its defining polygon ([9]).*

Our work provides a systematic review related to use of Bézier curves theory and its CAGD applications to the real-life phenomenon.

This book chapter consists of five parts. In the introduction part, the historical process and also the process related to the first starting point of the Bézier theory are explained and the basic definitions and concepts to be used throughout the chapter are presented. In the second part, the relations between Bernstein polynomials and Bézier curves are examined. In the third part, which forms the core of the section, studies that have important contributions to the literature, including various applications of these curves to the field of computer-aided geometric design, are compiled. In section 4, result of the study that guides the reader is given. In the appendix A part; Python 3.10 programming language (64 bit) codes of Figure 1.2. have been shared with the readers.

## 1. Bernstein Polynomials

### 1.1. Definition ([1])

Bézier curves are defined by Bernstein polynomials as follows:

$$\mathcal{B}_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i}, \quad (1.1)$$

where the binomial coefficients are given by:

$$\binom{n}{i} = \begin{cases} \frac{n!}{i!(n-i)!}, & \text{if } 0 \leq i \leq n \\ 0, & \text{else.} \end{cases} \quad (1.2)$$

Before we focus on the importance of Bernstein polynomials (see Fig.1.2 for the cubic case) to Bézier curves, we give some important properties fulfilling the followings:

- *Recursion:*

$$\mathcal{B}_i^n(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (1.3)$$

$$= \binom{n-1}{i} t^i (1-t)^{n-i} + \binom{n-1}{i-1} t^i (1-t)^{n-i} \quad (1.4)$$

$$= (1-t)\mathcal{B}_i^{n-1}(t) + t\mathcal{B}_{i-1}^{n-1}(t). \quad (1.5)$$

thus

$$\mathcal{B}_i^n(t) = (1-t)\mathcal{B}_i^{n-1}(t) + t\mathcal{B}_{i-1}^{n-1}(t) \quad (1.6)$$

is verified with  $\mathcal{B}_0^0(t) = 1$ ,  $\mathcal{B}_j^n(t) = 0$ , for  $j \notin \{0, \dots, n\}$ .

- *Partition of unity:*

Using the well-known binomial theorem,

$$\begin{aligned} \sum_{j=0}^n \mathcal{B}_j^n(t) &= \sum_{j=0}^n \binom{n}{j} t^j (1-t)^{n-j} = [1 + (1-t)]^n = 1 \\ \sum_{j=0}^n \mathcal{B}_j^n(t) &= 1 \end{aligned} \quad (1.7)$$

is obtained.

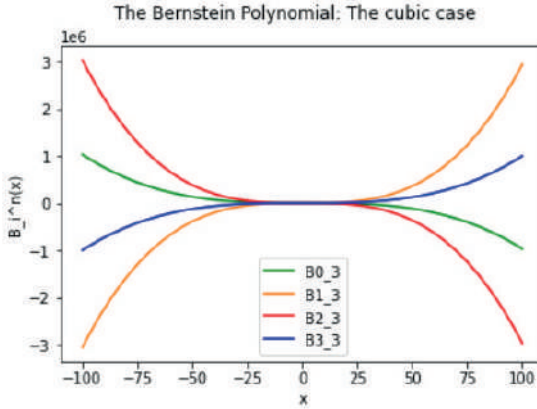


Figure 1. 2. The Bernstein polynomials: the cubic case ([33]-[34]).

- *Affine invariance*: while Bézier curves are invariant under affine transformations, they are not invariant under projective transformations. So, (1.7) verifies this property algebraically.
- *Convex hull property*: for the values  $t \in [0,1]$ , the Bernstein polynomials are nonnegative. This yields (1.7). However, for the values  $t$  outside of the interval  $[0,1]$ , the convex hull property does not work.

$$\sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i \mathcal{B}_i^n(t) = \sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i \mathcal{B}_i^n\left(\frac{t-a}{b-a}\right), \quad a, b \in \mathbb{R} \tag{1.8}$$

$$\mathbf{b}[\alpha_1 r + \alpha_2 s, t_2] = \alpha_1 \mathbf{b}[r, t_2] + \alpha_2 \mathbf{b}[s, t_2]; \quad \alpha_1 + \alpha_2 = 1, \tag{1.9}$$

where  $t_2$  is a blossom argument, the blossom  $\mathbf{b}$  is affine with respect to its first argument, but it is also affine for the second one thanks to the symmetry property in (1.9) for any points  $r, s \in \mathbb{R}$ .

- *Endpoint interpolation*: let  $\delta_{i,j}$  be the Kronecker delta function. As the results of the equations (1.7),  $\mathcal{B}_i^n(0) = \delta_{i,0}$ , and  $\mathcal{B}_i^n(1) = \delta_{i,n}$ .
- *Symmetry*: in words: there is no difference between labeling Bézier points as two different ordering such as  $p_0, p_1, \dots, p_n$  or



$p_n, p_{n-1}, \dots, p_0$ . Only the directions of these two curves make difference. In other words, we describe this situation using the below mathematical formula:

$$\sum_{j=0}^n \mathbf{b}_j \mathcal{B}_j^n(t) = \sum_{j=0}^n \mathbf{b}_{n-j} \mathcal{B}_j^n(1-t), \text{ for every } t \in [0,1]. \quad (1.10)$$

and using (1.1)

$$\mathcal{B}_j^n(t) = \mathcal{B}_{n-j}^n(1-t) \quad (1.11)$$

holds, so it is concluded that Bernstein polynomials are symmetric with respect to the points  $t$  and  $1-t$ .

- *Invariance under combinations:* for  $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ , we get linearity property as below:

$$\sum_{j=0}^n (\alpha_1 \mathbf{b}_j + \alpha_2 \mathbf{c}_j) \mathcal{B}_j^n(t) = \alpha_1 \sum_{j=0}^n \mathbf{b}_j \mathcal{B}_j^n(t) + \alpha_2 \sum_{j=0}^n \mathbf{c}_j \mathcal{B}_j^n(t). \quad (1.12)$$

### 1.1.1. Why Bernstein polynomials matter for the construction of Bézier curves?

Let us remember that Bézier curves can be written as blossom form (see Chapter 3.4 in [1]).

Since we can rewrite  $t = (1-t) \cdot 0 + t \cdot 1$ ,

$$\mathbf{b}(t) = \sum_{i=0}^n \mathbf{b}_i \mathcal{B}_i^n(t) \quad (1.13)$$

is obtained.

In a similar manner, the intermediate P de Casteljaou points  $\mathbf{b}_i^r$  can be considered with reference to Bernstein polynomials of order  $r$ :

$$\mathbf{b}_i^r(t) = \sum_{j=0}^r \mathbf{b}_{i+j} \mathcal{B}_j^r(t). \quad (1.14)$$

As we see from (1.14), the points  $\mathbf{b}_i^r$  build upon the given Bézier points  $\mathbf{b}_i$  and also these points create the Bézier curves by themselves. So, we can write a Bézier curve as below:

$$\mathbf{b}^n(t) = \sum_{i=0}^{n-r} \mathbf{b}_i^r(t) \mathcal{B}_i^{n-r}(t). \quad (1.15)$$

## 2. On Bézier curves and more

Based on the information we have given so far, it is not difficult to predict the shape of a curve formed by a Bézier polygon. Now we are ready to give the mathematical formula of a Bézier curve.

### 2.1. Definition ([9])

A Bézier curve  $\wp(t)$  of degree  $n$  is defined as follows:

for every  $t \in [0,1]$ ,

$$\wp(t) = \sum_{i=0}^n p_i J_{n,i}(t), \quad (2.1)$$

where

$$J_{n,i}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad (2.2)$$

is the Bézier or Bernstein basis or blending function.

We know that  $J_{n,i}(t)$  is the  $i$ th  $n$ th-order Bernstein basis function. The degree of the Bernstein basis function is denoted by  $n$ , and also  $p_i$  are the control points.

There exists an other basis, called as B-spline basis (from Basis spline). Bernstein basis is included in this one as a spesific case. In [10], Gordon and Riesenfeld have implemented B-spline basis to the definition of curve.

Now, we give the definition of B-spline curve.

### 2.2. Definition ([9, 10])

Let  $P(t)$  be the position vectors along the curve function with the parameter  $t$ , a B-spline curve is defined by

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i N_{i,k}(t), \quad t_{min} \leq t < t_{max}, \quad 2 \leq k \leq n+1 \quad (2.3)$$

where  $B_i$ ,  $N_{i,k}(t)$  are the position vectors of  $n+1$  defining polygon vertices, and normalized B-spline basis functions, respectively.

### 2.3. Definition ([11], [17])

Cubic Bézier curves are described with four control points like  $p_0, p_1, p_2$  and  $p_3$  in a three-dimensional or higher dimensional space.

Let us write  $\wp_{p_j, p_k, p_l}(t)$  to denote quadratic Bézier curve constructed with any three points  $p_j, p_k$ , and  $p_l$ . Acting similarly, cubic Bézier curve denoted by  $\wp_c(t)$  can be defined as an affine combination of the quadric ones as followings:

$$\wp_c(t) = (1-t)\wp_{p_0, p_1, p_2}(t) + t\wp_{p_0, p_1, p_2}(t), \quad 0 \leq t \leq 1. \quad (2.4)$$

The explicit form is:

$$\wp_c(t) = (1-t)^3\wp_0 + 3(1-t)^2t\wp_1 + 3(1-t)t^2\wp_2 + t^3\wp_3, \quad 0 \leq t \leq 1. \quad (2.5)$$

### 3. Previous Reviews on Bézier Curves in Computer-Aided Geometric Design (CAGD)

In the literature, there are many systematic and wide-ranging studies dealing with "Bézier curves in CAGD" from different perspectives.

The theory of Bézier curves; not just computer graphics, animation, Computer-Aided Geometric Design (CAGD); it is also a promising comprehensive mathematical theory that is prominent in many popular areas of state of the art technology, such as shape preservation of curves and surfaces, robotics, image compression or font design, highway-railway design, satellite path planning, and even creation of 3D tensor product surface models ([11]-[14], [36]).

Here, we aim to focus on mostly CAGD applications of Bézier curves and their related modifications.

In CAGD systems, it is an effective way that fitting a Bézier curve to a set of data. Rushi and Yahya have used cubic Bézier curve function for curve fitting employing the least square method, which optimizes the parameters of the curve function. The Bézier curve is the most ideal of all other polynomial-based curves used to represent the complex and piecewise polynomial curve. Therefore, it is indeed entitled to a loan at CAGD. Authors have presented a curve fitting scheme relying on cubic Bézier curve with four steps and also they develop an effective algorithm to make approximation to the bitmap images (see Fig.3.1) ([15]-[16]).



*Figure 3. 2. A diagram for the curve fitting algorithm ([16]).*

According to Bashir et al. [13], creating a curve or surface has a counterpart in CAGD. Cubic B-splines and Bézier curves are widely used in CAD and CAGD, but in some cases there are difficulties in obtaining the desired shape due to the structure of their polynomials. To overcome this challenge, shape parameters have come into play.

Sarfraz [18] has focused on the problem of fitting curves and surfaces for CAD. He has used a piecewise rational cubic interpolation to provide shape control of parametric curves. Here, his main idea is to be able to generalize Gordon's [19] blending-function method.

Chen and Wang [20] have extended a significant method standing on the Progressive Iterative Approximation (PIA) property of the univariate Normalized Totally Positive (NTP) bases. They have done this progress using triangular Bézier basis, triangular and rational Bézier surfaces since these kinds of surfaces play a vital role in CAGD in the sense of reverse engineering.

Wang and Rosen [21] have focused on CAD methods for constructing fabricated lattice structures to strengthen mechanical properties. Here, the authors have described the overall design process for the truss structure and discuss how solid modelling techniques and approaches such as parametric modelling, finite element methods and optimization have been applied to design the truss structure.

Mineur et al. have presented a new approach in their work [22]. According to this approach, a curve of appropriate shape is fitted to a set of data points. This technique is basically rest on the classical curve concept. The curve fitting techniques given here have made an important contribution to the literature as they are mathematically based on the preliminary shape characterization of the curve to be modelled and using a typical curve definition. In addition, a modification method has been developed to preserve the characteristic shape of the curve. According to this modification, an automatic fitting procedure is developed from a point set of data, based on the concepts of curve and arc length. Thus, it can be

implemented on surface modelling software and gives very effective results in car body shape design.

Li et al. [23] have introduced the method of approximating Bézier curve by the least square polygon (LSP), which is derived by optimizing the mean error between the approximating polygon and the Bézier curve.

Wang et al. [24], impressed by Mineur et al., have introduced a 3D Bézier curves and a 3D affine transformation of a uniform and scaling and a rotation. In other words, a kind of generalization of planar typical curves developed by Mineur et al. is also proposed. This contribution has germinated design and automotive applications supported with effective examples.

In [25], a cubic trigonometric Bézier curve (T-Bézier) -akin to the classical cubic Bézier curve- with two shape parameters has been introduced by Han et al. They have made the shape of the curve adjustable by changing the values of its parameters, while the control polygon remain unaffected. Thus, it is easy to adapt T-Bézier curves to CAD/CAGD/CAM systems using cubic Bézier curves.

In [26], a more practical definition is given for Beta-Bézier curves, and with this new definition, the properties of Beta-Bézier curves are more easily studied. For example, the convex hull property of Beta-Bézier curves has been provided. Thus, it has been shown that Beta-Bézier curves are not only carry all the essential properties of Bézier curves, such as the convex body property, recursive subdivision, B-spline conversion, and interpolation, but also have the ability to change the shape of a Bézier curve segment.

Moustafa et al. [27] have extended the thought of tension control proposed in [26] from curves to surfaces. Together with extending the work done to surfaces, an efficient rectangular mesh interpolation scheme using suggested patch types is also given. Thus, the proposed surface patches can be reshaped without moving the control points.

Fortes and Medina [28] have proposed a novel fitting method. This method aims to improve the previous fitting models from two ways: (1) obtaining the wireframe on which the fitting patch rests, by means of Bézier techniques, allowing the shape of the surface to be mounted to be expanded more harmoniously inside the hole; (2) adapting the fitting patch to a sufficiently general and non-cartesian wireframe to be able to securely collect information of the surface to be fitted.

As a recent work in [29], Astonkar has recommended a CAD generative network lean on the transformer, rested on an analogy between CAD processes and spoken language. Also, in this study, the author aims to create a learning-based deep engineering sketch as an important step towards parametric CAD model synthesis.

Again in a very recent paper in [30], Ramanantoanina and Hormann have concentrated on a generalization of Sánchez-Reyes's idea [31] related to periodic Bézier curves. They have created a difference about this generalization of Bézier curves to the rational medium by exploring the use of trigonometric binocular form in the concept of curve design. Further, it has been shown to provide more direct control over the shape of the curve and complements the usual shape control tools given by the periodic rational Bézier form (weights and control points).

The authors in [32] have aimed to find the minimum radius of a Bézier curve consisting of sixteen cubic Bézier curves on a bike path in Mălini, Romania. They have preferred to compare the procedure between hand-drawn horizontal curves and approach the trace using cubic Bézier curves and Python.

In the current study [35], Korotkiy at al. have been able to close a gap that existed in the literature of contemporary architecture with this study. In the architecture, smooth curves from nature and non-linear shapes have been extensively used. Thanks to state of the art calculation methods and digital modelling, architectural structures based on such nature curves can be replanned. From this point of view, certain conditions must be met for the practical use of a graphically defined irregular curve. It has been made possible to satisfy these necessary conditions by using a composite cubic Bézier curve. Moreover, a graphic-based analytical algorithm has been developed and in this way desired curves can be created.

#### **4. Conclusion**

The literature on Bézier curves in CAGD is summarized and synthesized in this book chapter. Our study contributes to the existing literature and knowledge repository and paves the way for further research. In conclusion, the theory of Bézier curves offers a long-term and promising future to all designers and researchers working in the fields of technology, geometry, science and industry, and CAGD.

## REFERENCES

1. Farin, G. (2011). *Curves and Surfaces for CAGD: A Practical Guide (The Morgan Kaufmann Series in Computer Graphics) 5th Edition*: Morgan Kaufmann.
2. Narayan, K. L., K. Rao, M.K., and Sarcar, M.M.M. (2008). *Computer Aided Design and Manufacturing*. New Delhi: Prentice Hall of India.
3. Duggal, V. (2000). *Cadd Primer: A General Guide to Computer Aided Design and Drafting-Cadd, CAD*: Mailmax Pub.
4. Madsen, D. A. (2012). *Engineering Drawing & Design*. Clifton Park, New York: Delmar. p. 10.
5. Farin, G., Hoschek, J., and Kim, M.-S. (2002). *Handbook of computer aided geometric design [electronic resource]*: Elsevier.
6. Casteljaou, d. F. d. P. (1986). *Mathematics and CAD-Shape mathematics and CAD*: Paris, Hermes Publishing.
7. Barnhill, R. and Riesenfeld, R. F. (1974). (Ed.). *Computer Aided Geometric Design*: Academic Press.
8. Li, Y., Zhang, M., Jin, W. *et al.* (2023). Approximating Bézier curves with least square polygons. *Vis Comput.* <https://doi.org/10.1007/s00371-023-02806-0>.
9. Rogers, D. F. and Adams, J. A. (1989). *Mathematical Elements for Computer Graphics*: McGraw-Hill.
10. Gordon, W. J. and Riesenfeld, R. (1974). *B-Spline Curves and Surfaces*: Academic Press, 5-126.
11. Raseli, S.S., Faisal, N.A.M.K and Mahat, N. (2022). The Construction of Cubic Bézier Curve, *Journal of Computing Research and Innovation (JCRINN)*, 7(2), 111-120.
12. Kilicoglu, S. and Senyurt, S. (2020). On the involute of the cubic Bézier curve by using matrix representation in  $E^3$ . *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 13(2), 216–226.
13. Bashir, U., Abbas, M., and Ali, J. M. (2013). The G2 and C2 rational quadratic trigonometric Bézier curve with two shape parameters with applications. *Applied Mathematics and Computation*, 219(2013), 10183–10197.
14. Abbas, M., Jamal, E., and Ali, J. M. (2011). Bézier curve interpolation constrained by a line. *Applied Mathematical Sciences*, 5(37), 1817–1832.
15. Zain, S.A.A.S.M., Misro, M. Y., and Miura K.T. (2022). Curve Fitting Using Generalized Fractional Bézier Curve. *Proceedings of CAD'22, Beijing, China*, 77-8.
16. Rusdi, N. A., and Yahya, Z. R. (2015). Reconstruction of generic shape with cubic Bézier using least square method. *AIP Conference Proceedings*, (pp. 050004-1-050004-6).

17. Burkardt, J. "Forcing Bézier Interpolation". Archived from the original on 2013-12-25.
18. Sarfraz, M. (1995). Curves and Surfaces for Computer Aided Design using  $C^2$  Rational Cubic Splines, *Engineering with Computers*.11:94-102.
19. Gordon, W.J. (1971) Blending function methods of bivariate and multivariate interpolation and approximation, *SIAM J. Num. Anal.*, 8, 158-177.
20. Chen, J. and Wang, G.-J. (2011). Progressive iterative approximation for triangular Bézier surfaces, *Computer-Aided Design*, 43(8), 889-895.
21. Wang, H. V., & Rosen, D. W. (2001). *Computer-aided design methods for the additive fabrication of truss structure* (Master's thesis, School of Mechanical Engineering, Georgia Institute of Technology).
22. Mineur Y., Lichah T., Castelain J.M., and Giaume, H. A. (1998). Shape controlled fitting method for Bézier curves. *Comput Aided Geom Design*. 15(9):879–91.
23. Li, Y., Zhang, M., Jin, W. *et al.* (2023). Approximating Bézier curves with least square polygons. *Vis Comput* .
24. Wang, A., He, C., Zheng, J., and Zhao, G. (2023). 3D Class A Bézier curves with monotone curvature, *Computer-Aided Design*. 159-103501.
25. Han, X., Ma, Y., and Huang, X. (2009). The cubic trigonometric Bézier curve with two shape parameters, *Applied Mathematics Letters*. 22, 226–231.
26. Cheng, F, Kazadi, A., and Lin, A. (2020). *Beta-Bézier curves*. CAD'20. <https://doi.org/10.14733/cadconfp.2020.343-347>.
27. Moustafa, S., Kazadi, A, Cheng, F, Lai, S., and Lin, A.J., *Beta-Bézier Surfaces*, CAD'23. doi: 10.14733/cadconfP.2023.xxx-yyy.
28. Fortes, M.A. and Medina, E. (2022). Fitting missing data by means of adaptive meshes of Bézier curves. *Mathematics and Computers in Simulation*. 191.33-48.
29. Astonkar, D. V. (2023). For Computer- Aided Design, a Deep Engineering Sketch Generative Network, *Eur. Chem. Bull*.1703-1712.
30. Ramanantoanina, A. and Hormann, K. (2023). Shape control tools for periodic Bézier curves, *Computer Aided Geometric Design*, 103.
31. Sánchez-Reyes, J. (2009). Periodic Bézier curves. *Comput. Aided Geom. Des.* 26, 989–1005.
32. ȘOMÎTCĂ, I.-A., DEACONU, Ș.-E., and ȘOMÎTCĂ, S.-A. (2023). A new Procedure of Computing the Minimum Radii of Bézier Curves and Applications in Designing a Bike Trail. *Journal of Applied Computer Science & Mathematics*. 1(17), No. 35, Suceava.
33. Ögrekçi, S. (2023, June). Retrieved from <https://sogrekci.com/ders-notu/python-ve-bilimsel-hesaplama/42-grafik-cizimi/>, (2023, June).
34. Retrieved from <https://pybilim.wordpress.com/2014/01/27/matplotlib-3-bitisik-sekiller-yazi-ve-diger-suslemeler/>, (2023, June).



35. Korotkiy, V.A., Usmanova, E.A., Khmarova, L.I. (2023). The Design of Architectural Forms Based on Irregular Curves. In: Radionov, A.A., Ulrikh, D.V., Timofeeva, S.S., Alekhin, V.N., Gasiyarov, V.R. (eds) Proceedings of the 6th International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety. ICCATS 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 308. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1\\_29](https://doi.org/10.1007/978-3-031-21120-1_29).
  
36. Akalin, R., Karateke, S. , Gümüş, M. , and Zontul, M. (02.06.2022). A Review on Bézier Curves Applications in Computer Aided Geometric Design (CAGD). INTERNATIONAL GRADUATE RESEARCH SYMPOSIUM IGRS'22. (Oral Presentation), (Publication No:7719997), file:///C:/Users/CarryUp/Downloads/igrs22-program-day-2\_v5.htm

## Appendix A. Cubic Bernstein Polynomials Python 3.10 (64 bit) Programming Language Codes:

```
In [76]: import numpy as np
import pandas as pd
from matplotlib import pyplot as plt
#Bi_n=sum(i,n,x)(n,i)*(1-t)**(n-i)*t**i
x = np.linspace(-100, 100, 100)
B0_3=(1-x)**3
plt.plot(x,B0_3,"g", label="B0_3")

x = np.linspace(-100, 100, 100)
B1_3=3*(1-x)**2*x
plt.plot(x,B1_3,"tab:orange", label="B1_3")

x = np.linspace(-100, 100, 100)
B2_3=3*(1-x)*x**2
plt.plot(x,B2_3,"r", label="B2_3")

x = np.linspace(-100, 100, 101)
B3_3=x**3
plt.plot(x,B3_3,"b", label="B3_3")

plt.xlabel("x")
plt.ylabel("B_i^n(x)")
plt.suptitle("The Bernstein Polynomial: The cubic case")
plt.legend(loc="best")
plt.show()
```



# Nobel Molecule Artemisia-Annua and T-CD8+ Receptor Bestfit Interactions

Ülkü Bayhan<sup>1</sup>

Remziye Banka<sup>2</sup>

## Abstract

Effector T cells, one of the body's defense cells, have an active role in the regulation of immune responses. These T cells have assumed the role of defense between the soluble substances they produce and the ligand interactions on their surface, and the regulators of the immune system. The CD8+ cells surface receptor control intracellular pathogens. CD8+ cells directly mark cells infected with intracellular organisms. In this study, the interactions between Artemisia annua ligand molecule and CD8+ surface protein molecules were investigated. AutoDock 4 –MGLTolls package program was used for the calculations, taking into account the basic energy data by determining the best binding site of the protein to the ligand interaction.

## 1. INTRODUCTION

Since Chinese medicine, Artemisia annua is used as a natural supplement to reduce fever and treat malaria. Chinese chemists obtained this extract from the leaf parts of the plant in 1971. The obtained extract is a sesquiterpene lactone bearing a peroxide group. Unlike the components in the structure of many other anti-inflammatory drugs, the molecular structure of the Artemisinin plant does not have a nitrogen-containing heterocyclic ring system. This compound is both sensitive and resistant to chloroquine (1).

Artemisinin is resistant and effective against all other classes of parasites, making it the most important group of natural antimalarial drugs currently available. Some of the two most important safe classes of drugs for the treatment of severe malaria have been published in the literature as plant-

1 Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Art and Science Faculty, Physics Department, Burdur, Turkey, Orcid: 0000-0003-3793-3130

2 Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Art and Science Faculty, Molecular Biology and Genetics Department, Burdur, Turkey, 0000-0002-4538-9596

derived cinchona alkaloids and *Artemisia Annua*. Cinchona is a native tree of the Amazon Rainforest. It is used to obtain quinine. This substance is an antipyretic that has been used in the prevention and treatment of malaria from the very beginning. *Artemisia annua* is derived from the qinghao herb, which has been documented in traditional Chinese pharmacology for the treatment of fever for over two thousand years and has a longer history of use (2-5). *Artemisia annua* has a complex mechanism of action and can cause widespread damage to many components of the parasite (3). *Artemisia annua* (Sweet wormwood) is a plant with a very characteristic features. It has a leaf structure similar to fern leaves and can reach 2 meters in length. It is used in the treatment of malaria, fever and parasitic ailments. Recent studies have discovered new areas where it can be used in the treatment of many types of cancer, as well as melanoma, brain tumors and prostate cancer (4-5).

*Artemisia annua* (PubChem CID: 68827) has become a key component of malaria treatment (5). Access to *Artemisia annua* -based drugs is still limited in most regions. However, agricultural developments, the most beneficial hybrid selection, the development of peroxides synthesized in the laboratory and microbial drug production will facilitate access to these drugs. *Artemisia annua* -based therapies are also recommended by the World Health Organization (WHO) for the first-line treatment of malaria (6). 2015 Nobel Prize in Medicine, *Artemisia annua*. It was given to three scientists doing research on *Artemisia annua*, which is a malaria-protective extract obtained from the extracts of the plant *Artemisia annua* (7). Cytotoxic T cells CD8+; (PDB ID:1CD8) protect infected cells, tumor cells and transplant cells. In addition, they target and destroy certain cells that exhibit recognizable antigens. T cells, with their different subgroups, play a key role in the control of both intracellular and extracellular pathogens. T cells expressing the CD8 surface receptor control intracellular pathogens. Stimulated T cells and CD8+ directly destroy cells infected with intracellular organisms(8).

In this study, it is thought that the interaction between the CD8 surface receptor and the *Artemisia annua* molecule may have positive effects on the immune system. These calculations made with Autodock 4 (9) and Chimera Package (10) Programs are preliminary information in future laboratory studies in order to determine whether the effect of *Artemisia annua* molecule on the immune system is positive or negative.

## 2. MATERIALS AND METHODS

In silico methods based on estimating the properties of drugs and other chemical substances and their effects on the body with computer models have become increasingly important in pharmacology and toxicology in recent years. Because in silico methods have important advantages. In silico methods are fast and inexpensive, allow a large amount of data to be evaluated simultaneously and with high accuracy, and provide an alternative to animal experiments and complex in vitro tests. This study was prepared in computer environment by using AutoDock4 and UCSF Chimera package programs.

### 2.1. Ligand and Molecule Optimization

In this study, two-three-dimensional structure data were obtained with the ligand UCSF-Chimera [10-11] software, whose chemical structure is known. Affected-penetration-pocket sites on the macromolecule surface were determined using the Autodock 4 MGL Tools (<https://vina.scripps.edu/>) package. Molecular calculation initial values were used from PubChem(<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>) and Protein DataBank (<https://www.rcsb.org/>) sources. It was sterilized by wiping at the junction points so that no atoms other than the macromolecule remained. Grid-based potential functions of macromolecule and ligand interactions were determined at local minimum values. Function limits were determined by adjusting the grid values in  $80 \times 80 \times 80$  Å AutoDock 4 software.

Morris, G.M., Goodsell, D.S., Halliday, R.S., Huey, R., Hart, W.E., Belew, R.K., Olson, A.J., "Automated docking using a Lamarckian genetic algorithm and an empirical binding free energy function", *Journal of Computational Chemistry*, 1998, 19: 1639–1662.

From simulations, we get information about molecular energies, hydrogen bonds that can be bonded to water, and the number of hydrogen bonds whose lengths are calculated. To reduce the molecular charge of the ligand, the position of the atoms was approximated using the molecular interactions. The prepared ligand was deposited into the macromolecule force field.

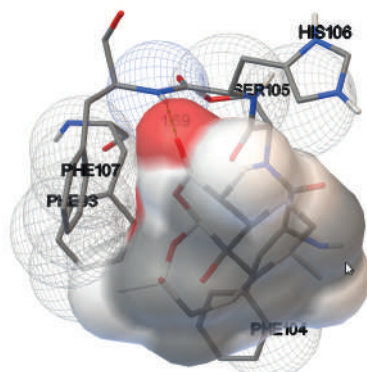
Base sets were determined according to the lowest energy and strongest bonds and angles of this ligand sample with minimum energy values and coordinates.

### 3. RESULT AND DISCUSSION

Van der Waals Interactions occur between polar and covalently bonded atoms in different molecules. In biological systems, weak interactions between molecules are important. Some of these weak attractions are due to temporary partial charges that are created when electrons move around the nucleus. Data obtained with AutoDock4 and UCSF Chimera package programs on Artemisia annua & CD8+ Interaction are shared in this section. Many iterations were made and best of 3 selected Among the other bonding molecules, PHE107 (-6.1 kcal/Mol binding energy) can be said to be to most likely amino acid to be attached (Table 1).

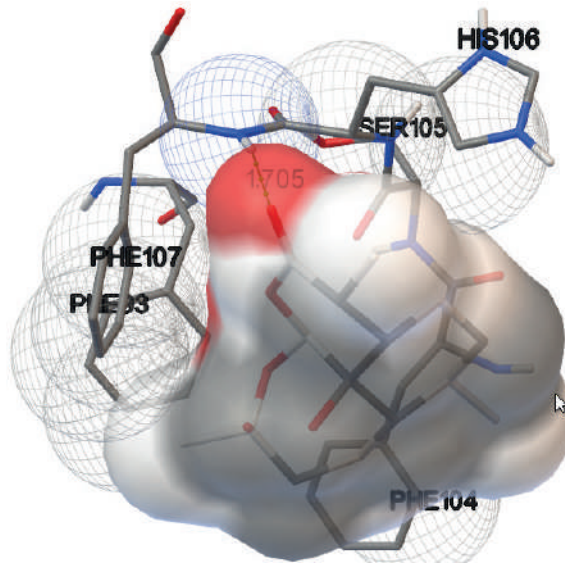
**Table 1.** The three conformations with the strongest Artemisia annua - CD8+ surface receptor interaction were obtained with the AutoDock 4 MGLTolls package program.

Conformation bestfits	Binding_ energy (kcal/mol)	Inhi- bition constant	Intermol_ energy (kcal/mol)	H Bonds
Conformation 1	-6.1	33.79	-6.1	PHE107
Conformation 2	-6.1	33.75	-6.1	PHE107
Conformation 3	-6.1	33.89	-6.1	PHE107

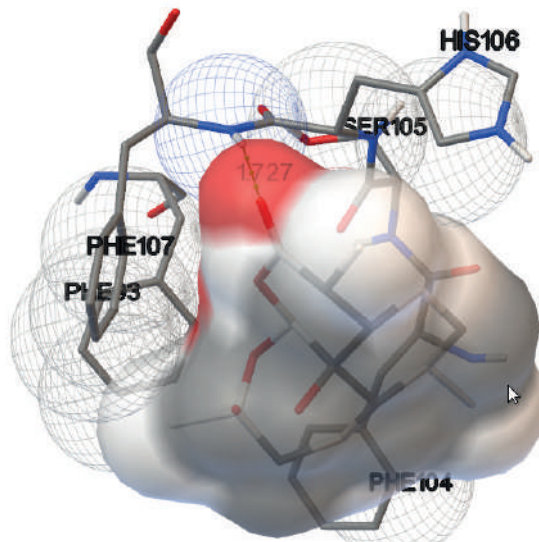


**Figure 1.** Conformation 1, an image in the form of Van der Waals clusters. One Hydrogen bond was observed, 1.69 Å long and bound to the PHE107 Amino acid (HIS106-SER105-PHE103)

PHE104 are show weaker then A107 binding interaction) The image was obtained with the AutoDock 4 package program (11).



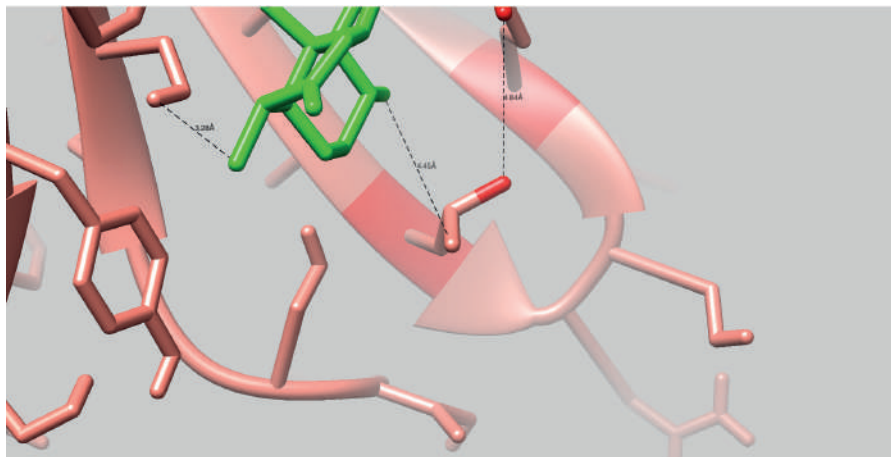
**Figure 2.** Conformation 2, an image in the form of Van der Waals clusters. One Hydrogen bond was observed, 1.705 Å long and bound to the PHE107 Amino acid. The image was obtained with the AutoDock MGL Tools package program.



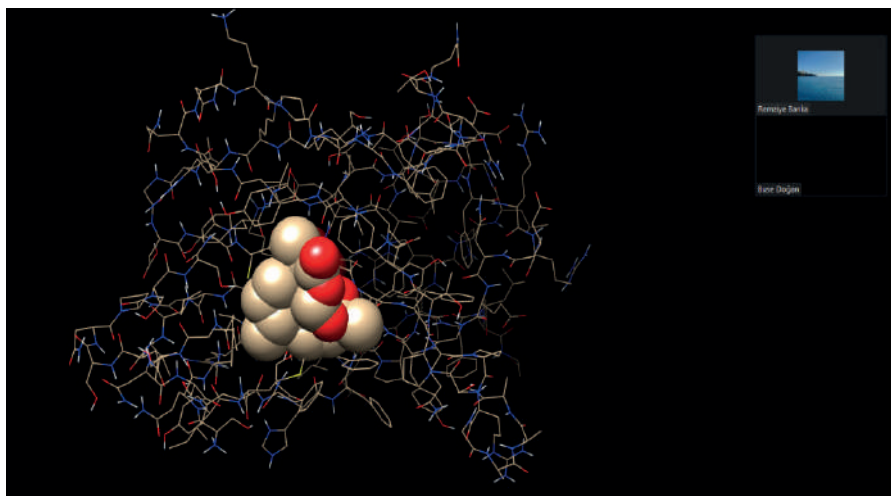
**Figure 3.** Conformation 3, an image in the form of Van der Waals clusters. One Hydrogen bond was observed, 1.727 Å long and bound to the



PHE107 Amino acid. The image was obtained with the AutoDock MGL Tools package program.



**Figure 4.** There are calculated bond lengths between protein-protein and protein-ligand, and the image was obtained with the UCSF Chimera package program (12). Green part: *Artemisia annua* substance, pink-red part: CD8+ surface receptor. The calculated nearest molecule-ligand distance is seen that 3.28 Å.



**Figure 5.** This image shows the size difference in the CD8+ - *Artemisia annua* islands. The image was obtained with the UCSF Chimera package program.

#### 4. CONCLUSION

As a result of these calculations, interaction between ligand - CD8 surface receptor was observed and theoretical results were recorded. In the docking study, it has been proven that the *Artemisia annua* can bind to the CD8 surface receptor. The possibility of having positive effect on the immune system is confirmed by the results of theoretical calculations. Considering that *Artemisia annua* substance binds to lung cells in malaria and prevents the parasite from attaching, it is thought that in the current Pandemic, *Artemisia annua* substance may also bind to lung cells and prevent SARS-CoV-2 from binding. With this in-silico study, we can expect to accelerate the creation of a drug candidate targeting ligand molecule in immun system cells.

**Acknowledgements:** the researchers carried out this study by utilizing NanoSimLab resources of the Physics Department of Burdur Mehmet Akif Ersoy University .

**Financial Support:** This research received no grant from any funding agency/sector.

**Conflicts of Interest:** The authors declared that there is no conflict of interest.

## REFERENCES

1. Klayman D.L., (1985) “*Qinghaosu (Artemisinin): an antimalarial drug from China*”, **Science** 228(4703), , 1049-55.  
DOI: 10.1126 / science.3887571
2. Krishna S., Uhlemann A. C., & Haynes R. K., (2004) “ *Artemisinins: mechanisms of action and potential for resistance*”, **Drug Resistance Updates**, 7(4-5), 233-44.  
DOI: 10.1016/j.drug.2004.07.001
3. Ariev F., Clain J., Duval R., Ménard R., Talman A.M., (2019) “*Artemisinin Bioactivity and Resistance in Malaria Parasites*”, **Trends Parasitol**, 35(12), 953-63.  
DOI: 10.1016/j.pt.2019.09.005
4. Bayhan Ü., Banka R.,”*CD8 Yüzey Reseptörü & Artemisinin Etkileşmesinin Doking Hesaplaması Yolu İle Belirlenmesi*” 2nd International Young Researchers Student Congress 17-19 December 2020,Abstract book, p:183 Burdur/TURKEY.
5. Miller L.H., Su X., “*Artemisinin: Discovery from the Chinese Herbal Garden*”, (2011), **Science Direct**. 146(6), 855-58.  
DOI: 10.1016/j.cell.2011.08.024
6. An S.S., Ariev F., Chotivanich K., Das D., Day N.P.J., Dondorp A.M., Hanpithakpong W., Herdman T., Imwong M., Lee S.J., Lindegardh N., Lim P., Lwin K.M., Nosten F., Phyto A.P., Ringwald P., Silamut K., Singhasivanon P., Socheat D., Yeung S., Yi P., Tarning J., White N.J., (2009), “*Artemisinin Resistance in Plasmodium Falciparum Malaria*”, **The New England Journal of Medicine** 361;5, 455-67.  
DOI: 10.1056/NEJMoa0808859
7. Croft S. L., & Ward S.,”*The Nobel Prize in Medicine 2015: Two drugs that changed global health*”, **Science translational medicine** 7(316), (2015), 316ed14-316ed14.  
DOI: 10.1126/scitranslmed.aad5868
8. Bülbül Başkan E., (2013),” *T Cell Immunity*”. **Türkderm** 47(1), 18-23.  
DOI: 10.4274/turkderm.47.s3
9. Belew R. K., Goodsell D. S., Huey R., Lindstrom W., Morris G. M., Olson A. J., Sanner M. F. (2009), “ *Autodock4 and AutoDockTools4: Automated Docking With Selective Receptor Flexibility*”, **J. Comp.Chem.**, 16: 2785-91.  
DOI: 10.1002/jcc.21256
10. Couch G.S., Ferrin T.E., Goddard T.D., Greenblatt D.M., Huang C.C., Meng E.C., and Pettersen E.F. (2004), “*UCSF Chimera- A Visualiza-*

*tion System for Exploratory Research and Analysis*”, **J. Comput. Chem.**, 25:1605-12.

DOI: 10.1002/jcc.20084

11. El-Hachem, N., Haibe-Kains, B., Khalil, A., Kobeissy, F.H., Nemer, G. (2017). “AutoDock and AutoDockTools for Protein-Ligand Docking: Beta-Site Amyloid Precursor Protein Cleaving Enzyme 1(BACE1) as a Case Study”. In: Kobeissy, F, Stevens, Jr., S. (eds) **Neuroproteomics. Methods in Molecular Biology**, vol 1598, p:391-403, Humana Press, New York, NY.

DOI 10.1007/978-1-4939-6952-4\_20



## Güneş Hücreleri

Veysel Çelik<sup>1</sup>

### Özet

Bu kitap bölümü, güneş hücrelerinin işleyişini, farklı türlerini, verimliliklerini, ekonomik ve maliyet etkinliklerini, çevresel etkilerini, topluma olan etkilerini, bilimsel araştırmaları ve inovasyonları, gelecekteki beklentileri ve perspektifleri detaylı bir şekilde incelemektedir. Temel işleyiş süreçleri ve farklı güneş hücre türleri ile başlayan bölüm, bu teknolojilerin verimlilik ve maliyet etkinlik boyutlarına ışık tutmaktadır. Çevresel etkiler ve sürdürülebilirlik kavramları, güneş hücrelerinin çevre dostu bir enerji alternatifi olarak öne çıkmasını sağlamaktadır. Bilimsel araştırma ve inovasyonlar, tüm bu başlıkların merkezine oturmuş durumdadır. İnovasyon ve araştırma, güneş hücre teknolojilerinin verimliliğini artırmak, maliyetlerini azaltmak, daha çevre dostu hale getirmek ve toplumun daha geniş kesimlerine ulaştırmak için hayati önem taşımaktadır. Son olarak, bölüm gelecekteki gelişmeler, beklentiler ve güneş hücrelerinin genel gelecek perspektifini okuyuculara sunmaktadır.

### 1. Giriş

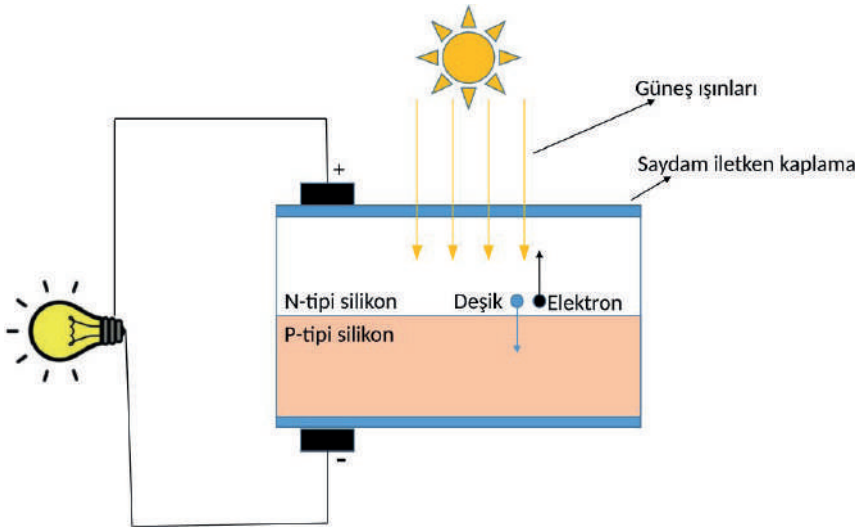
Dünya genelinde hızla büyüyen enerji talebi, iklim değişikliği ve çevresel sorunların artması, enerji kaynaklarının kökenini yeniden düşünmemizi gerektiriyor. Kullandığımız fosil yakıtlar, gezegenimizin karbon ayak izini önemli ölçüde artırıyor ve hızla tüketiyor. Gelecekte, bu enerji kaynaklarından biri veya hepsi bir noktada tükenecek. Bu durum, sürdürülebilir ve çevreye zarar vermeden enerji üretebilecek alternatifler arayışını hızlandırıyor. İşte tam da burada güneş hücreleri devreye giriyor. Güneş hücreleri, dünyamızın enerji ihtiyacını karşılamada potansiyel bir çözüm sunar. Çünkü güneş, bize geniş ve sınırsız bir enerji kaynağı sağlar. Güneş enerjisi, güneş hücreleri tarafından elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Bu teknoloji, fosil yakıtların yerini

1 Siirt Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü, vcelik@siirt.edu.tr, Orcid: 0000-0001-5020-8422

alabilecek bir yenilenebilir enerji kaynağı sağlama potansiyeline sahiptir. Bu muazzam enerji potansiyeli, güneş hücreleri ve fotovoltaik (PV) teknoloji aracılığıyla kullanılabilir hale getirilmiştir.

Güneş hücreleri, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine sahip olan yarı iletken malzemelerden yapılmıştır. Bir güneş hücresi, yüzeyine düşen ışığın enerjisini emerek ve bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek çalışır. Bu süreç, “fotovoltaik etki” olarak adlandırılır. Fotovoltaik teknoloji, hem enerji üretiminde hem de enerji tüketiminde büyük bir dönüşüm potansiyeli taşır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına geçiş, iklim değişikliği ve sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşma çabalarımızın önemli bir parçasıdır. Bu bağlamda, güneş hücreleri ve onların sürekli gelişimi, temiz ve sürdürülebilir bir enerji geleceği oluşturma çabalarımızın merkezinde yer alıyor. Bu bölüm, güneş hücrelerinin temel işleyişini, farklı türlerini ve teknolojilerini, maliyet analizini, verimlilik faktörlerini ve çevresel etkilerini anlamamıza yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Ayrıca, en yeni bilimsel araştırmalar ve inovasyonlar hakkında bilgi vererek, bu alanın gelecekte ne yönde ilerleyeceği konusunda bir perspektif sağlar.

Şekil 1: Tipik silikon tabanlı bir güneş hücresinin çalışma prensibi.



## 2. Güneş Hücrelerinin Temel İşleyişi

Güneş hücreleri, güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için kullanılan fotovoltaik (PV) cihazlardır. Temel işleyişleri, fotovoltaik etki olarak bilinen bir fiziksel süreci içerir. Bu süreç, ilk olarak 19. yüzyılda keşfedildi ve enerji sektöründe devrim yaratmıştır (Palz, 2010). Şekil 1’de silikon

tabanlı bir güneş hücresinin temel işleyişi gösterilmektedir. Fotovoltaik etki, bir malzemenin yüzeyine ışık düştüğünde meydana gelir. Işık, enerji taşıyan parçacıklar olan fotonları içerir. Fotonlar, güneş hücresine çarptığında, hücrenin yarı iletken malzemesinde elektronların serbest bırakılmasına neden olur. Bu serbest elektronlar, bir elektrik devresi oluşturmak için malzeme boyunca hareket ederler. Güneş hücrelerinin çoğu, yarı iletken silikon tabakalarından oluşur. Bu tabakalar genellikle, biri “p-tipi” ve diğeri “n-tipi” olmak üzere iki farklı türde olur. P-tipi ve n-tipi silikon tabakaları arasında bir “pn eklemi” oluşturulur. Pn eklemi, bir yük bariyeri oluşturarak elektronların sadece bir yönde akmasını sağlar. Bu, bir elektrik akımının oluşmasına neden olur. Verimlilik, bir güneş hücresinin başarı ölçütüdür. Bir güneş hücresinin verimliliği, hücrenin alınan güneş enerjisinin ne kadarını elektrik enerjisine dönüştürebildiğini ifade eder. Verimlilik, bir dizi faktör tarafından etkilenir, ancak malzeme kalitesi, hücre tasarımı ve işlem koşulları gibi faktörler en belirgin olanlarıdır.

### 3. Güneş Hücrelerinin Tarihçesi

Güneş hücrelerinin kökeni, 19. yüzyıla dayanır. Ancak, bu teknolojiyi modern dünyanın enerji sistemine entegre etme çabaları büyük ölçüde 20. yüzyıla özgüdür. İlk fotovoltaik etki, 1839’da Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından gözlemlendi (Edmond, 1839). Ancak, bu buluşun pratik uygulamaları oldukça sınırlıydı çünkü 19. yüzyılın teknolojisi, güneş ışığını etkili bir şekilde elektrige dönüştürme yeteneğinden yoksundu. 20. yüzyılın ortalarına gelindiğinde, güneş hücreleri teknolojisi, enerji üretiminin bir formu olarak daha fazla dikkat çekmeye başladı. 1954’te, Bell Labs, modern güneş hücresinin ilk prototipini tanıttı. Bu hücre, bir pn eklemine sahip saf silikon bir hücreydi ve verimliliği %6’yı bulmuştu (Chapin ve ark., 2004). Apollo ve Voyager gibi uzay misyonları, güneş hücre teknolojisindeki ilerlemeyi hızlandırdı. Bu misyonlarda kullanılan uydu ve uzay araçları, güneş hücreleri tarafından güç sağlanan ilk cihazlar oldu. 1980’ler ve 1990’lar, fotovoltaik teknolojide büyük ilerlemelere tanıklık etti. Bilim insanları ve mühendisler, güneş hücrelerinin verimliliğini artırmak ve maliyetlerini azaltmak için yeni malzemeler ve üretim teknikleri keşfetti. Örneğin, ince film güneş hücreleri ve çoklu bağlantı hücreleri, bu dönemde önemli gelişmeler oldu. 21. yüzyılda, güneş hücreleri daha geniş çapta benimsendi ve enerji üretiminde daha önemli bir rol oynamaya başladı. İklim değişikliği ve sürdürülebilir enerji konularındaki artan farkındalık, hükümetler ve işletmeler arasında güneş enerjisi teknolojilerine yatırım yapma isteğini artırdı. Perovskit güneş hücreleri gibi ileri teknolojiler, bu dönemde geliştirildi ve ticarileştirildi (Kojima ve ark., 2009). Güneş hücrelerinin tarihçesi, teknolo-



jik ilerlemeye ve sürdürülebilir bir enerji geleceğine doğru ilerleyen sürekli bir yolculuktur. Bu yolculuk, bilim, teknoloji ve çevre farkındalığı arasındaki etkileşimleri vurgular.

#### 4. Güneş Hücrelerinin Farklı Türleri ve Teknolojileri

Güneş hücreleri, çeşitli malzemeler ve teknolojiler kullanılarak üretilir. Her tür ve teknoloji, belirli avantajlar ve sınırlamalar sunar. En yaygın kullanılan güneş hücre türleri kristal silikon hücreler, ince film hücreler ve çok bağlantılı hücrelerdir. Kristal silikon hücreler, en yaygın kullanılan güneş hücresi türüdür ve pazarın büyük bir bölümünü oluşturur. Bunlar genellikle monokristal veya polikristal formda bulunur. Monokristal hücreler, yüksek verimlilik sağlar ancak üretim maliyetleri yüksektir. Polikristal hücreler, daha düşük maliyetlidir ancak verimlilikleri genellikle monokristal hücrelerden daha düşüktür. İnce film güneş hücreleri, genellikle bakır indiyum galyum diselenid (CIGS), kadmiyum tellurid (CdTe) veya amorf silikon (a-Si) gibi malzemelerden yapılmıştır. İnce film hücrelerinin avantajları, hafif olmaları, esnek olmaları ve gölgelendirme veya yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı olmalarıdır. Bununla birlikte, genellikle kristal silikon hücrelerinden daha düşük verimliliklere sahiptirler. Çoklu bağlantılı hücreler veya çok katmanlı hücreler, genellikle uzay uygulamalarında kullanılır ve en yüksek verimlilikleri sunar. Bu hücreler, farklı dalga boylarındaki ışığı emmek için birden çok yarı iletken tabaka kullanır. Bu, hücrelerin daha geniş bir ışık spektrumunu kullanmasını ve bu sayede daha yüksek verimliliklere ulaşmasını sağlar. 21. yüzyıl, güneş hücre teknolojilerinde bir dizi yeni ve heyecan verici gelişmeye tanıklık etmiştir. Özellikle perovskit güneş hücreleri, yüksek verimlilikleri ve potansiyel olarak düşük maliyetleri ile dikkat çekmektedir. Bu güneş hücreleri, inorganik ve organik malzemelerin bir kombinasyonunu kullanır ve laboratuvar koşullarında %25'in üzerinde verimlilik elde etmiştir (Min ve ark., 2021).

#### 5. Güneş Hücrelerinin Verimliliği

Güneş hücreleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme yeteneğine sahip cihazlardır. Bu cihazlar genellikle yarı iletken malzemelerden yapılmıştır, genellikle silikon. Her ne kadar bu dönüşüm süreci %100 verimli olmasa da, güneş hücreleri giderek daha verimli hale gelmektedir. Güneş hücrelerinin verimliliği genellikle laboratuvar koşullarında ölçülür ve bu değer genellikle yüzdelik olarak ifade edilir. 2023 itibarıyla, en yüksek verimli güneş hücreleri, laboratuvar koşullarında yaklaşık %40-46 verimlilik sağlar (Dimroth ve ark., 2016). Ancak, pratik kullanım koşullarında, bu de-

ğer genellikle biraz daha düşüktür ve ticari olarak mevcut güneş panellerinin verimlilik değerleri genellikle %15-22 arasındadır (Schultz ve ark., 2007).

Güneş hücrelerinin verimliliğini etkileyen birkaç faktör vardır. Bunlardan ilki seçilen malzemedir. Farklı yarı iletken malzemeler, farklı verimlilik seviyelerine sahiptir. Örneğin, monokristal silikon hücreler genellikle polikristal silikon hücrelerden daha verimlidir. Yeni teknolojiler, örneğin perovskit hücreler, potansiyel olarak daha yüksek verimlilik seviyelerine ulaşabilir. Diğer bir etken ise Hücre Tasarımıdır. Hücrenin fiziksel tasarımı da verimliliği etkilemektedir. Örneğin, daha ince hücreler genellikle daha verimlidir çünkü fotonların hücre içerisinde emilme olasılığı daha yüksektir. Güneş hücresinin üzerine düşen ışığın yoğunluğu ve açısı da verimliliği etkileyen diğer bir faktördür. Güneş hücreleri, güneş ışığına en dik açıyla maruz kaldığında en verimli hale gelir. Ayrıca, daha yoğun ışık, daha fazla elektrik enerjisi üretir. Güneş hücrelerinin verimliliği, hücrenin sıcaklığına da bağlıdır. Genellikle, hücre sıcaklığı arttıkça, verimlilik azalır. Sıcaklık gibi diğer bir çevresel faktörde gölgeleme ve kirdir. Bir güneş hücresi üzerindeki herhangi bir gölgeleme veya kir, hücrenin güneş ışığını emme yeteneğini azaltır ve dolayısıyla verimliliğini azaltır. Son olarak, yüksek verimlilik genellikle daha yüksek maliyetle gelir. Bu nedenle, bir güneş paneli sistemi seçerken, sadece verimliliği değil, aynı zamanda maliyeti ve sistemin genel enerji ihtiyaçlarını da göz önünde bulundurmak önemlidir.

## 6. Güneş Hücrelerinin Ekonomik Etkileri ve Maliyet Etkinliği

Güneş hücrelerinin yaygınlaşması, sadece çevresel etkileri değil, aynı zamanda ekonomik etkileri de dikkate alınmalıdır. Güneş hücrelerinin maliyet etkinliği, bir dizi faktöre bağlıdır. Bu faktörler arasında hücrenin tipi, üretim maliyetleri, kurulum maliyetleri, bakım maliyetleri, hücre verimliliği ve kullanılan elektriğin fiyatı bulunur. Son yıllarda, güneş hücrelerinin maliyetleri önemli ölçüde azalmış ve bazı bölgelerde ızgara paritesi elde edilmiştir, yani güneş enerjisi, geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla aynı maliyete veya daha düşük maliyete sahip olmuştur (Clearway, 2023). Güneş hücrelerinin ekonomik faydaları da dikkate alınmalıdır. Bunlar arasında, yerel iş oluşturma, enerji güvenliği ve enerji ithalatına bağımlılığın azaltılması yer alır. Ayrıca, güneş hücreleri, enerji yoksunluğu olan kırsal ve uzak bölgelerde enerji erişimini sağlama potansiyeline sahiptir. Gelecekte, güneş hücrelerinin maliyetlerinin daha da düşmesi beklenmektedir. Bu, özellikle perovskit ve diğer gelişmekte olan güneş hücresi teknolojilerinin gelişmesiyle hızlanabilir. Ancak, bu tahminler belirsizliklere tabidir ve teknolojik ilerlemenin yanı sıra politika, düzenlemeler ve enerji fiyatlarındaki değişikliklere bağlıdır. Sonuç

olarak, güneş hücrelerinin ekonomik etkileri ve maliyet etkinliği, teknolojinin gelecekteki gelişimini şekillendiren önemli faktörlerdir. Bu etkilerin daha iyi anlaşılması ve yönetilmesi, güneş hücrelerinin sürdürülebilir bir enerji geleceğine doğru daha büyük bir katkıda bulunmasını sağlayabilir.

### 7. Güneş Hücrelerinin Çevresel Etkileri ve Sürdürülebilirliği

Güneş hücreleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin önemli bir parçası olarak kabul edilir. Bununla birlikte, güneş hücrelerinin üretimi, kullanımı ve bertarafı çeşitli çevresel etkilere sahip olabilir. Güneş hücrelerinin üretimi, enerji tüketimine ve sera gazı emisyonlarına yol açabilir. Yarıiletken malzemelerin üretimi genellikle yoğun enerji kullanan bir süreçtir ve silikon bazlı güneş hücreleri genellikle yüksek sıcaklıkta işlemler gerektirir. İnce film hücreler ve perovskit hücreler, genellikle daha düşük enerji yoğunluğu gerektiren üretim süreçlerine sahip olabilir, ancak bazı durumlarda potansiyel olarak kurşun gibi toksik malzemeler gerektirebilirler. Ancak, güneş hücrelerinin operasyonel aşaması, neredeyse hiçbir emisyon üretmez ve bu da onları çevre dostu bir enerji kaynağı yapar. Bununla birlikte, hücrelerin ömrünün sonunda bertarafı, çevresel etkilere sahip olabilir. Güneş hücrelerinin çoğu 20-30 yıl süreyle kullanılabilir ve sonrasında geri dönüştürülmesi gerekir. Güneş hücrelerinin geri dönüşümü, teknolojinin sürdürülebilirliği için önemli bir adımdır. Geri dönüşüm, değerli malzemelerin yeniden kullanılmasını sağlar ve atık miktarını azaltır. Bununla birlikte, bu süreç, enerji tüketimi ve potansiyel çevresel etkileri nedeniyle zorluklar sunabilir. Bütün bunlara rağmen, güneş hücrelerinin çevresel avantajları genellikle olası etkilerinden daha ağır basar. Güneş hücrelerinin yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu sera gazı emisyonları, fosil yakıtların kullanılmasına kıyasla genellikle çok daha düşüktür. Güneş hücreleri, enerji sistemimizin sürdürülebilir bir şekilde dönüştürülmesinde önemli bir rol oynar. Bununla birlikte, bu teknolojinin tam potansiyelini kullanabilmek için, üretim, kullanım ve bertaraf süreçlerinin tüm yönlerini dikkate almak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için stratejiler geliştirmek önemlidir.

### 8. Güneş Hücreleri ve Toplum

Güneş enerjisi, hem yenilenebilir enerji kaynağı olması hem de nispeten az çevresel etkisi nedeniyle toplumda geniş çapta kabul görmüştür. Ayrıca, son yıllarda güneş paneli teknolojisinin maliyetinin düşmesi ve verimliliğinin artması, bu kabulü daha da genişletmiştir. Güneş enerjisinin toplumsal kabulünde politikalar ve düzenlemeler büyük bir rol oynar. Hükümetler, güneş enerjisi kullanımını teşvik etmek için çeşitli yöntemler kullanabilirler. Örneğin, yenilenebilir enerji hedefleri belirleyebilirler, güneş enerjisi projeleri için

mali destek sağlayabilirler, ve elektrik şebekesine geri satma düzenlemeleri gibi politikalar uygulayabilirler. Elektrik şebekesine geri satma düzenlemeleri, güneş enerjisi sistemlerinin sahiplerinin, sisteminin ürettiği fazla elektriği elektrik şebekesine satmasına olanak sağlar. Bu, güneş enerjisi sistemlerinin ekonomik cazibesini artırır ve genellikle güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşmasına yardımcı olur. Güneş enerjisinin toplumsal kabulünde ayrıca eğitim ve farkındalık da önemli bir rol oynar. İnsanlar, güneş enerjisi teknolojisi ve bunun nasıl çalıştığı hakkında daha fazla bilgi edindikçe, bu teknolojiyi benimseme olasılıkları artar. Bu nedenle, eğitim ve bilgilendirme kampanyaları, güneş enerjisinin yaygınlaşmasını teşvik etmekte önemli bir rol oynayabilir. Toplumsal değerler ve normlar da güneş enerjisi kullanımını etkileyebilir. Topluluklar, çevre dostu teknolojileri benimseme ve iklim değişikliği ile mücadele konusunda daha fazla sorumluluk alma konusunda daha fazla baskı hissettikçe, güneş enerjisi kullanımı muhtemelen artacaktır. Genel olarak, güneş enerjisi, enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olarak giderek daha yaygın bir şekilde benimsenmektedir. Bu benimseme, hem teknolojik ilerlemelerin hem de politikalar, düzenlemeler ve toplumsal normların bir kombinasyonu tarafından yönlendirilmektedir.

## 9. Güneş Hücrelerinin Gelecekteki Gelişmeleri ve Beklentiler

Güneş hücreleri teknolojisi, sürekli bir evrim ve ilerleme sürecinde olduğundan, bu alanın gelecekte ne yönde gelişeceğini öngörmek büyük önem taşır. Bu bölüm, mevcut trendlere ve gelecekteki gelişmelere bakarak güneş hücreleri teknolojisinin nerede olabileceğine dair bir bakış sunmaktadır. İlk olarak, güneş hücrelerinin verimliliğinin artırılması konusu, araştırma ve geliştirme çalışmalarının önemli bir odağı olmaya devam ediyor. Bu, hem geleneksel silikon hücrelerin optimize edilmesiyle hem de yeni teknolojilerin, özellikle perovskit hücrelerin ve çok katmanlı hücrelerin geliştirilmesiyle sağlanabilir. İkinci olarak, maliyet düşürme çabaları devam etmektedir. Bu, hem üretim süreçlerinin iyileştirilmesi ve ölçek ekonomilerinden yararlanılması hem de daha ucuz ve daha kolayca kullanılabilir malzemelerin geliştirilmesi ile gerçekleştirilebilir. Üçüncü olarak, güneş hücrelerinin çevresel etkisi üzerindeki çalışmalar önemli bir odak noktası olmaya devam edecektir. Bu, hem daha çevre dostu üretim süreçlerinin geliştirilmesini hem de hücrelerin geri dönüşümünün ve bertarafının etkin bir şekilde yönetilmesini içerir. Dördüncü olarak, güneş hücrelerinin daha geniş enerji sistemine entegrasyonu önemli bir konudur. Bu, akıllı şebekeler ve enerji depolama çözümleri gibi teknolojilerle ilgili olarak ele alınabilir. Sonuç olarak, güneş hücreleri teknolojisi parlak bir geleceğe sahip görünüyor. Ancak bu geleceği gerçekleştirmek

için, sürekli teknolojik yeniliklerin yanı sıra etkili politika ve düzenlemeler gereklidir.

## 10. Bilimsel Araştırmalar ve İnovasyonlar

Güneş hücresi teknolojisi, son yıllarda önemli ilerlemeler kaydetti ve devam eden birçok araştırma, bu alanda daha da ilerleme potansiyelini göstermektedir. Perovskit güneş hücreleri, son yıllarda oldukça fazla dikkat çeken bir teknolojidir. Perovskit malzemeler, özellikle yüksek ışık emilimi ve ışığı elektriğe dönüştürme yeteneği nedeniyle öne çıkarlar. Perovskite güneş pilleri, perovskit yapılı bir malzemeden oluşan aktif bir tabakaya sahip güneş pilleridir. Bu malzeme tipik olarak solüsyonla işlenmiş bir hibrit organik-inorganik kalay veya kurşun halojenürdür. 2009 yılında verimlilikleri %5'in altındaydı ancak verimliliklerindeki artış yıllara göre yüksek olmuştur. Laboratuvar koşullarında, bu hücreler %25'in üzerinde bir verimlilik seviyesine ulaşmıştır (Li ve ark., 2022) ve bu oranın daha da artabileceği düşünülmektedir. Purcell etkisini kullanan Rochester Üniversitesi'ndeki araştırmacılar, 2023'te hücre verimliliğinde önemli gelişmeler elde edilebileceğini bildirdi (Rochester, 2023). Ancak, perovskit hücrelerin karşılaştığı bazı önemli zorluklar vardır. Bunlardan biri de çevresel koşullara dayanıklılıktır. Perovskite malzemeler genellikle nem ve sıcaklık değişikliklerine karşı hassastır, bu da hücrelerin ömrünü kısaltabilir. Çok sayıda araştırma grubunun çözümleri araştırmasına rağmen, perovskit güneş pili türlerinin çoğu henüz ticarileştirilmek için yeterli operasyonel kararlılığa ulaşmadı (Kosasih and Ducati, 2018). Yapılan çalışmalar Perovskite güneş pillerinin ve tandem perovskit'in enerji ve çevresel sürdürülebilirliğinin yapıya bağlı olduğu gösterilmiştir (Tian ve ark., 2020; Gong ve ark., 2015; Tian ve ark., 2021). Işık yönetimi için fotonik ön kontaklar, geniş bant emilimini artırarak perovskit hücrelerinin performansını artırabilir ve aynı zamanda onları tehlikeli yüksek enerjili (görünür üstü) radyasyondan koruyarak operasyonel stabilitelerini geliştirebilir (Haque ve ark., 2019). Ek olarak, perovskit malzemeler genellikle kurşun içerir, bu da çevresel ve sağlıkla ilgili sorunlara yol açabilir. Yüksek verimine rağmen, toksik element kurşunu en verimli perovskit güneş hücrelerine dahil etmek, ticarileştirme için bir engel teşkil edebilir (Li ve ark., 2020). Bu problemler, bilim insanlarını, perovskit güneş hücrelerinin çevresel istikrarını ve toksisitesini azaltmak için alternatif materyaller ve hücre tasarımları araştırmaya yönlendirmiştir. Özellikle, kurşun yerine kullanılacak alternatif malzemeler (Ke and Kanatzidis, 2019) ve hücrelerin nemden korunması için çeşitli koruyucu katmanlar üzerinde durulmaktadır (Hosseinian ve ark., 2021). Şekil 2'de perovskit tabanlı güneş hücresinin tabakalı yapısı gösterilmektedir. Özellikle verim açısından yüktaşıyıcı tabakalar ile perovskit

arasında elektronik yapı bakımından uyum olmalıdır. Yapılan araştırmada yük taşıyıcılardan elektron transfer tabakası olarak  $\text{SnO}_2$  kullanıldığında iletim bandı minimum seviyesinin Pb iyonu ile ayarlanabileceği ön görülmüştür (Çelik, 2021).

Şekil 2: Tabakalı yapıya sahip Perovskite tabanlı güneş hücresinin genel yapısı.



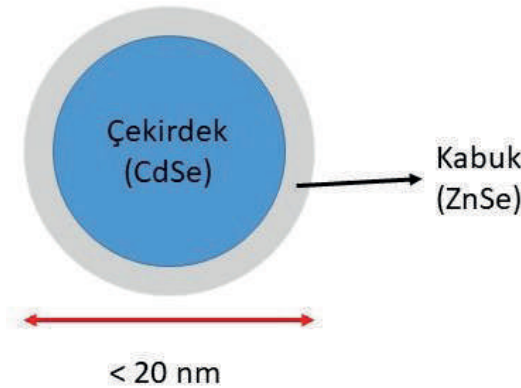
Diğer bir araştırma alanı ise çok katmanlı veya tandem hücrelerdir. Çok katmanlı hücreler, farklı enerji seviyelerinde ışığı emebilen birkaç yarı iletken tabakadan oluşur. Bu, daha geniş bir ışık spektrumunun kullanılmasını ve dolayısıyla daha yüksek verimlilik seviyelerine ulaşılmasını sağlar. Özellikle, perovskit malzemelerin silikon tabanlı hücrelerle birleştirilmesi, %30'un üzerinde verimlilik sağlayabilir (Duong ve ark., 2023). Çok katmanlı güneş hücreleri, farklı enerji band aralığına sahip birkaç fotovoltaik malzemeden oluşur ve bu sayede gelen güneş ışığının daha geniş bir spektrumunu absorbe etme kapasitesine sahip olur. Genellikle, bir tandem hücre, bir üst hücre ve alt hücre olmak üzere en az iki hücreden oluşur. Bu hücreler, genellikle bir tünel bağlantısı ile seri olarak bağlanır ve bu da tüm hücrelerin tek bir devre gibi çalışmasını sağlar. Yakın tarihli bir çalışma, çok katmanlı güneş hücrelerinin verimliliğini artırmanın anahtarı olan III-V yarıiletkenlerin kullanımına odaklanmıştır (Li ve ark., 2021). III-V yarıiletkenler, bant aralıkları (enerji bant aralıkları) ayarlanabilir olduğu için son derece popülerdir ve böylece farklı dalga boylarını emme yetenekleri optimize edilebilir. Ancak, bu malzemeler pahalı olduğu ve üretim süreçleri çevre için zararlı olabileceği için, çok katmanlı güneş hücrelerinin geniş çapta uygulanması konusunda bazı engeller vardır. Buna rağmen, son yıllarda perovskit tabanlı tandem hücreler önemli bir ilerleme kaydetmiştir. Perovskit malzemeler, düşük maliyetleri ve üretim süreçlerinin çevre dostu olması nedeniyle popülerdir. Ayrıca, geniş ve ayarlanabilir band aralıkları sayesinde, farklı perovskit malzemeleri kombinleyerek bir çok katmanlı hücre oluşturulabilir. Bu nedenle, perovskit tabanlı tandem hücrelerin, gelecekte güneş enerjisinin verimli bir şekilde toplanması ve dönüştürülmesi için etkili bir çözüm olabileceği düşünülmektedir. Çok katmanlı güneş hücreleri, yüksek enerji dönüşüm verimliliği sağlamak için

birçok araştırmacının üzerinde durduğu bir teknoloji haline gelmiştir. Ancak, bu teknolojilerin yaygınlaşması için, malzeme maliyetlerini düşürme ve üretim süreçlerini daha çevre dostu hale getirme gibi çeşitli zorlukların üstesinden gelinmesi gerekmektedir. Bu alandaki gelecek çalışmaların, bu engelleri aşmak ve fotovoltaik teknolojilerin sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak kullanımını genişletmek için büyük bir potansiyeli vardır.

Kuantum nokta hücreler de sahip oldukları özellikler sayesinde araştırmacıların ilgisini çekmektedirler. Şekil 3'te bir kuantum noktasının genel yapısı gösterilmektedir. Kuantum noktalar, yarı iletken malzemelerin nano boyutlu parçacıklarıdır ve belirli özelliklerini değiştirmek için boyutları ve şekilleri ayarlanabilir (Michler, 2017). Bu, güneş hücrelerinin ışığı daha verimli bir şekilde emmesine olanak sağlar. Ayrıca, kuantum noktaların birden fazla elektronu aynı fotonla "uyarma" yeteneği vardır, bu da verimliliği artırılabilir (Nozik, 2002). Son yıllarda yapılan araştırmalar, kuantum nokta tabanlı güneş hücrelerinin potansiyelini ve zorluklarını anlamak için önemli bir ilerleme kaydetmiştir (Semonin ve ark., 2011a). Birçok çalışma, kuantum noktaların bant aralıklarının, ışığın geniş bir spektrumunu emmek ve enerjiye dönüştürmek için hassas bir şekilde ayarlanabileceğini göstermiştir (Kim ve ark., 2014). Bu, kuantum nokta hücrelerin teorik olarak, mevcut en iyi güneş hücrelerinden bile daha yüksek bir dönüşüm verimliliğine ulaşabileceği anlamına gelir. Ancak, kuantum nokta hücrelerin yaygın uygulanmasıyla ilgili birkaç teknik zorluk vardır. Örneğin, kuantum noktaların üretimi, genellikle yüksek maliyetli ve enerji yoğun süreçler gerektirir ve bu da kuantum nokta hücrelerin geniş çaplı uygulanmasını zorlaştırır (Rogach ve Eychmüller, 2020). Ayrıca, kuantum noktaların stabilitesi ve dayanıklılığı hala büyük bir endişe kaynağıdır. Buna rağmen, bu zorlukları aşmak için çeşitli araştırma çalışmaları devam etmektedir. Örneğin, daha düşük maliyetli ve daha çevre dostu kuantum nokta üretim yöntemlerinin geliştirilmesi üzerine çalışmalar sürmektedir. Ayrıca, kuantum noktaların stabilitesini ve dayanıklılığını artırmak için yeni malzeme kombinasyonları ve nano yapısı tasarımları üzerinde de çalışılmaktadır. Cd ve Pb tabanlı bileşenlerle ilişkili toksisite nedeniyle,  $\text{CuInS}_2$ ,  $\text{CuInSe}_2$  ve  $\text{CuInSeS}$  gibi "yeşil" kuantum nokta duyarlılaştırıcı malzemeler geliştirilmektedir (Sharma ve ark., 2016). Kuantum noktaların boyut kuantizasyonu, parçacık boyutunu değiştirerek bant aralığının ayarlanmasına olanak sağlar. Ayrıca yüksek soğurma katsayılarına sahiptirler ve çoklu eksiton oluşturma olasılığını göstermişlerdir (Semonin ve ark., 2011). Bir kuantum nokta güneş hücresinde, bir boya duyarlı güneş pilindeki gibi, titanyum dioksit ( $\text{TiO}_2$ ) nano-partiküllerinin gözenekli tabakası hücrenin iskeletini oluşturur.  $\text{TiO}_2$  tabakası, farklı yöntemler aracılığıyla yarı iletken kuantum noktaları (son derece küçük yarı iletken parçacıklar)

ile kaplanabilir. Bu yöntemler elektroforetik biriktirme, ardışık iyonik tabaka adsorpsiyonu ve kimyasal banyo biriktirme olarak adlandırılır. Bu işlem,  $TiO_2$  tabakasını ışığa duyarlı, yani fotoaktif hale getirir. Kaplama işleminden sonra, elektrik devresi, bir redoks çifti adı verilen özel bir kimyasal bileşik grubu kullanılarak tamamlanır. Bu redoks çifti sıvı veya katı formda olabilir. Kuantum nokta güneş hücrelerin verimliliği artmıştır ve hem sıvı bağlantılı hem de katı hal hücreler için %5'in üzerindedir (Kamat, 2012; Santra and Kamat, 2012; Moon ve ark., 2010). Rapor edilen en yüksek verimlilik %11.91'dir (Du ve ark., 2016). Üretim maliyetlerini düşürme çabası olarak, Prashant Kamat araştırma grubu,  $TiO_2$  ve CdSe ile yapılan bir güneş boyası geliştirdi (Kamat, 2013). Bu boya, herhangi bir iletken yüzeye %1 üzerinde verimlilikle tek adımlı bir yöntemle uygulanabiliyor (Genovese ve ark., 2012). Ancak, Kuantum nokta güneş hücrelerde kuantum noktalarının soğurması oda sıcaklığında zayıftır (Yu ve ark., 2017). Plazmonik nanopartiküller, kuantum noktaların zayıf soğurmasını gidermek için kullanılabilir (Wu ve ark., 2015). Kuantum noktalarının intraband ve interband geçişini uyaracak bir dış kızılötesi pompalama kaynağı eklemek de başka bir çözüm olabilir (Yu ve ark., 2017). Kuantum nokta fotovoltaiik hücreler, yüksek enerji dönüşüm verimliliği potansiyeli nedeniyle büyük bir ilgi çekmektedir. Bu teknoloji, hala önemli teknik zorluklarla karşı karşıya olsa da, bu alanda devam eden araştırmalar, kuantum nokta hücrelerinin gelecekte sürdürülebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

*Şekil 3: Çapı genellikle 20 nm altında olan kuantum noktalarının genel yapısının gösterimi.*



Güneş hücrelerinin kullanım alanlarını arttırmanın yollarından biri esneklik ve şeffaflıklarını arttırmaktır. Esnek ve şeffaf güneş hücreleri, güneş enerjisi teknolojisini daha geniş bir uygulama yelpazesine entegre etme potansiyeline sahiptir. Örneğin, bu hücreler pencerelere, binaların dış yüzey-

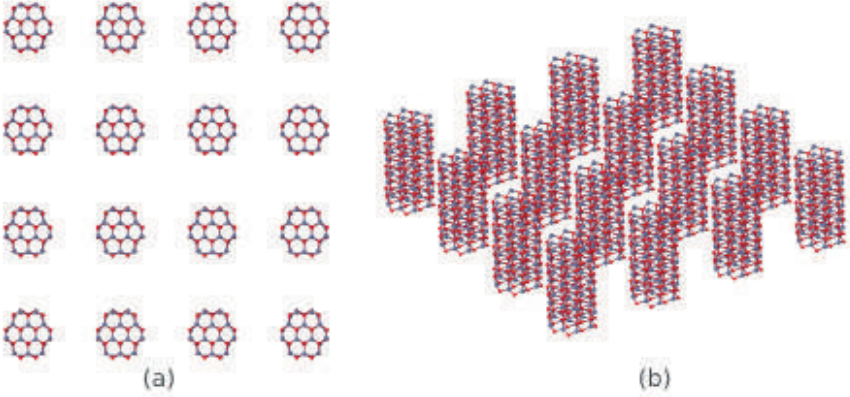


lerine veya hatta giysilere yerleştirilebilir. Esnek ve şeffaf güneş hücreleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinde bir dönüm noktası olabilirler. Bu hücreler, geleneksel güneş hücrelerinin kalın, sert ve opak olmasının aksine, hafif, esnek ve şeffaf olabilirler. Bu, onları çok çeşitli uygulamalar için ideal kılar, örneğin pencere ve cam cephe kaplamaları, esnek elektronik cihazlar ve hatta giyilebilir teknoloji. Esnek ve şeffaf güneş hücrelerinin üretiminde genellikle organik veya inorganik ince film malzemeler kullanılır. Organik güneş hücreleri, düşük maliyetli ve geniş alanlı üretim avantajlarına sahipken, inorganik ince film hücreler genellikle daha yüksek enerji dönüşüm verimliliği sunar. Son yıllarda, esnek ve şeffaf güneş hücrelerinin verimliliği ve dayanıklılığı üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Örneğin, bazı çalışmalar, esnekliği ve şeffaflığı artırırken verimliliği korumak için yeni malzeme ve hücre tasarımları üzerinde odaklanmıştır (Stauffer, 2017). Ayrıca, bu tür hücrelerin üretim sürecini daha verimli ve sürdürülebilir hale getirme çabaları da bulunmaktadır. Örneğin, bazı araştırmalar, düşük enerji yoğunluklu üretim süreçleri ve çevre dostu malzemeler üzerinde durmuştur (Sadasiyuni ve ark., 2019). Ancak, esnek ve şeffaf güneş hücreleri hala önemli zorluklarla karşı karşıyadır, özellikle bu hücrelerin verimliliği, dayanıklılığı ve ömrü konusunda. Bununla birlikte, bu alandaki devam eden araştırmalar, bu zorlukların üstesinden gelme ve bu tür hücrelerin çok çeşitli uygulamalar için pratik ve maliyet etkin bir çözüm haline gelme potansiyelini göstermektedir. Sonuç olarak, esnek ve şeffaf güneş hücreleri, yenilenebilir enerji teknolojilerinin geleceği için büyük bir umut vaat eder. Bu teknoloji, güneş enerjisini daha geniş bir çeşitlilikte ve daha esnek bir şekilde toplama ve kullanma potansiyeline sahiptir, bu da güneş enerjisinin gelecekteki kullanımını büyük ölçüde genişletebilir.

Nanoteller, yüksek derecede ışık soğurucu olmaları ve birçok elektrikselsel avantajları nedeniyle güneş hücreleri için ideal yapılar olarak kabul edilirler. Özellikle, nanotellerin yüksek yüzey alanı ve kısa taşıyıcı difüzyon yolları, hücrelerin hızla elektronları toplamasını ve ışığı daha verimli bir şekilde soğurmasını sağlar (Czaban ve ark., 2008). Silisyum nanoteller (SiNW) bazı güneş hücrelerinde yapılan bir dizi çalışma, bu teknolojinin ışık soğurma ve taşıyıcı toplama yeteneklerini daha da artırabileceğini göstermiştir (Garnett and Yang, 2010). Silisyum nanoteller, kristal yapısı ve elektronik özellikleri nedeniyle güneş hücrelerinde mükemmel bir performans gösterirler. Ayrıca, nanotellerin bir güneş hücresi tasarımına entegrasyonu, daha esnek ve hafif hücrelerin geliştirilmesine olanak sağlar. Bu, enerji toplama sistemlerinin her yerde, özellikle esnek elektronik cihazlar ve giyilebilir teknoloji uygulamalarında entegrasyonunu sağlar (McGehee, 2012). ZnO nano teller de güneş hücresi yapımında kullanılan önemli malzemelerdendir ve kristal yapısı elektronik yapısını etkilemektedir (Çelik and Mete, 2018). Sonuç olarak,

nanotellerin güneş hücreleri üzerindeki etkisi, bu teknolojinin önümüzdeki yıllarda yenilenebilir enerji sektörünün gelişmesinde önemli bir rol oynayacağına işaret ediyor. Bu nedenle, nanotellerin güneş hücrelerine entegrasyonu, sürdürülebilir bir enerji geleceğine doğru atılan önemli bir adım olarak görülebilir. Şekil 4'te ZnO nanotellerinin kristal yapısı gösterilmektedir.

Şekil 4: ZnO nanoteller. (a) nanotellerin üstten ve (b) farklı açıdan görünümü. Burada Zn ve O iyonları sırası ile gri ve kırmızı renklerle gösterilmektedir.



## 11. Sonuç ve Gelecek Perspektifi

Güneş hücresi teknolojisi, son yıllarda hızlı bir ilerleme kaydetmiştir. Maliyetlerin düşmesi, verimliliğin artması ve çeşitli hükümet politikalarının teşviki, güneş enerjisinin dünya çapında enerji üretiminde daha büyük bir rol oynamasına yardımcı olmuştur. Ayrıca, güneş enerjisi, sürdürülebilir ve çevre dostu bir enerji kaynağı olarak giderek daha fazla kabul görmektedir. Bununla birlikte, güneş hücresi teknolojisinin gelişimi durmamıştır. Laboratuvarlarda ve araştırma merkezlerinde, daha verimli ve uygun maliyetli güneş hücreleri geliştirmek için birçok heyecan verici çalışma devam etmektedir. Perovskit hücreler, çok katmanlı hücreler, kuantum nokta hücreler ve diğer gelişmekte olan teknolojiler, güneş enerjisinin gelecekteki potansiyelini daha da artırabilir.

Yeni uygulamalar ve yeni pazarlar da güneş hücre teknolojisinin gelecekteki büyümesine katkıda bulunabilir. Örneğin, esnek ve şeffaf güneş hücreleri, güneş enerjisinin binalara, pencerelere, araçlara ve hatta giysilere entegre edilmesine olanak sağlayabilir. Bu, güneş enerjisinin kullanım alanlarını genişletebilir ve bu teknolojiyi daha görünür ve kabul edilebilir hale getirebilir. Gelecekte, güneş enerjisi politikaları ve düzenlemeleri de önemli bir rol oynayacaktır. Hükümetlerin güneş enerjisi projelerini teşvik etmek için ata-

cakları adımlar, bu teknolojinin yaygınlaşma hızını ve ölçeğini büyük ölçüde etkileyebilir. Sonuç olarak, güneş hücre teknolojisi, enerji üretiminde sürdürülebilir ve çevre dostu bir alternatif olarak önemli bir rol oynamaya devam edecektir. Devam eden teknolojik ilerlemeler ve uygun politikalar ve düzen-

lemeler ile birlikte, güneş enerjisi, gelecekte enerji tüketimimizin önemli bir parçası olmaya devam edecektir.

### Kaynaklar

- Chapin, D. M., Fuller, C. S., and Pearson, G. L. (2004). A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. *Journal of Applied Physics*, 25(5):676–677.
- Clearway (2023). Cost of Solar Versus Traditional Energy kernel description.
- Czaban, J., Thompson, D., and LaPierre, R. (2008). Gaas core-shell nanowires for photovoltaic applications. *Nano Letters*, 8(1):92–96.
- Çelik, V. (2021). Use of local density approximation within range separated hybrid exchange–correlation functional to investigate pb doped sno2. *Physica B: Condensed Matter*, 619:413236.
- Çelik, V. and Mete, E. (2018). Screened coulomb hybrid density functional investigation of oxygen point defects on zno nanowires. *Computational Condensed Matter*, 16:e00307.
- Dimroth, F., Tibbits, T. N. D., Niemeier, M., Predan, F., Beutel, P., Karcher, C., Oliva, E., Siefert, G., Lackner, D., Fuß-Kailuweit, P., Bett, A. W., Krause, R., Drazek, C., Guiot, E., Wasselin, J., Tauzin, A., and Signamarcheix, T. (2016). Four-junction wafer-bonded concentrator solar cells. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 6(1):343–349.
- Du, J., Du, Z., Hu, J.-S., Pan, Z., Shen, Q., Sun, J., Long, D., Dong, H., Sun, L., Zhong, X., and Wan, L.-J. (2016). Zn–cu–in–se quantum dot solar cells with a certified power conversion efficiency of 11.6%. *Journal of the American Chemical Society*, 138(12):4201–4209.
- Duong, T., Nguyen, T., Huang, K., Pham, H., Adhikari, S. G., Khan, M. R., Duan, L., Liang, W., Fong, K. C., Shen, H., Bui, A. D., Mayon, A. O., Truong, T., Tabi, G., Ahmad, V., Surve, S., Tong, J., Kho, T., Tran-Phu, T., Lu, T., Zheng, J., Paetzold, U. W., Lemmer, U., Baillie, A. H., Liu, Y., Andersson, G., White, T., Weber, K., and Catchpole, K. (2023). Bulk incorporation with 4-methylphenethylammonium chloride for efficient and stable methylammonium-free perovskite and perovskite-silicon tandem solar cells. *Advanced Energy Materials*, 13(9):2203607.
- Edmond, B. M. (1839). Memoire sur les effets electriques produits sous l'influence des rayons solaires. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de L'Academie des Sciences*, 9:561–567.
- Garnett, E. and Yang, P. (2010). Light trapping in silicon nanowire solar cells. *Nano Letters*, 10(3):1082–1087.

- Genovese, M. P., Lightcap, I. V., and Kamat, P. V. (2012). Sun-believable solar paint. a transformative one-step approach for designing nanocrystalline solar cells. *ACS Nano*, 6(1):865–872.
- Gong, J., Darling, S. B., and You, F. (2015). Perovskite photovoltaics: life-cycle assessment of energy and environmental impacts. *Energy Environ. Sci.*, 8:1953–1968.
- Haque, S., Mendes, M. J., Sanchez-Sobrado, O., Águas, H., Fortunato, E., and Martins, R. (2019). Photonic-structured tio<sub>2</sub> for high-efficiency, flexible and stable perovskite solar cells. *Nano Energy*, 59:91–101.
- Hosseinian Ahangharnejhad, R., Song, Z., Mariam, T., Gardner, J. J., Liyanage, G. K., Almutawah, Z. S., Anwar, B. M. M., Junda, M., Podraza, N. J., Phillips, A. B., Yan, Y., and Heben, M. J. (2021). Protecting perovskite solar cells against moisture-induced degradation with sputtered inorganic barrier layers. *ACS Applied Energy Materials*, 4(8):7571–7578.
- Kamat, P. V. (2012). Boosting the efficiency of quantum dot sensitized solar cells through modulation of interfacial charge transfer. *Accounts of Chemical Research*, 45(11):1906–1915.
- Kamat, P. V. (2013). Quantum dot solar cells. the next big thing in photovoltaics. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 4(6):908–918.
- Ke, W. and Kanatzidis, M. G. (2019). Prospects for low-toxicity lead-free perovskite solar cells. *Nature Communications*, 10(1):965.
- Kojima, A., Teshima, K., Shirai, Y., and Miyasaka, T. (2009). Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells. *Journal of the American Chemical Society*, 131(17):6050–6051.
- Kosasih, F. U. and Ducati, C. (2018). Characterising degradation of perovskite solar cells through in-situ and operando electron microscopy. *Nano Energy*, 47:243–256.
- Li, J., Aierken, A., Liu, Y., Zhuang, Y., Yang, X., Mo, J. H., Fan, R. K., Chen, Q. Y., Zhang, S. Y., Huang, Y. M., and Zhang, Q. (2021). A brief review of high efficiency iii-v solar cells for space application. *Frontiers in Physics*, 8.
- Li, J., Cao, H.-L., Jiao, W.-B., Wang, Q., Wei, M., Cantone, I., Lü, J., and Abate, A. (2020). Biological impact of lead from halide perovskites reveals the risk of introducing a safe threshold. *Nature Communications*, 11(1):310.
- Li, Z., Li, B., Wu, X., Sheppard, S. A., Zhang, S., Gao, D., Long, N. J., and Zhu, Z. (2022). Organometallic-functionalized interfaces for highly efficient inverted perovskite solar cells. *Science*, 376(6591):416–420.
- McGehee, M. (2012). Nanostructured solar cells. *Nano Letters*, 12(6):2575–2578.
- Michler, P. (2017). *Single Semiconductor Quantum Dots*. Springer.

- Min, H., Lee, D. Y., Kim, J., Kim, G., Lee, K. S., Kim, J., Paik, M. J., Kim, Y. K., Kim, K. S., Kim, M. G., Shin, T. J., and Il Seok, S. (2021). Perovskite solar cells with atomically coherent interlayers on  $\text{SnO}_2$  electrodes. *Nature*, 598(7881):444–450.
- Moon, S.-J., Itzhaik, Y., Yum, J.-H., Zakeeruddin, S. M., Hodes, G., and Grätzel, M. (2010).  $\text{Sb}_2\text{S}_3$ -based mesoscopic solar cell using an organic hole conductor. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 1(10):1524–1527.
- Nozik, A. J. (2002). Quantum dot solar cells. *Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures*, 14(1-2):115–120.
- Palz, W. (2010). *Power for the World: The Emergence of Electricity from the Sun*. Jenny Stanford Publishing.
- Rochester (2023). Perovskites, a ‘dirt cheap’ alternative to silicon, just got a lot more efficient kernel description.
- Sadasivuni, K. K., Deshmukh, K., Ahipa, T. N., Muzaffar, A., Ahamed, M. B., Pasha, S. K. K., and Al-Maadeed, M. A.-A. (2019). Flexible, biodegradable and recyclable solar cells: a review. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 30(2):951–974.
- Santra, P. K. and Kamat, P. V. (2012). Mn-doped quantum dot sensitized solar cells: A strategy to boost efficiency over 5%. *Journal of the American Chemical Society*, 134(5):2508–2511.
- Schultz, O., Mette, A., Preu, R., and Glunz, S. (2007). Silicon solar cells with screen-printed front side metallization exceeding 19
- Semonin, O. E., Luther, J. M., Choi, S., Chen, H. Y., Gao, J., Nozik, A. J., and Beard, M. C. (2011a). Peak external photocurrent quantum efficiency exceeding 100% via meq in a quantum dot solar cell. *Science*, 334(6062):1530–1533.
- Semonin, O. E., Luther, J. M., Choi, S., Chen, H.-Y., Gao, J., Nozik, A. J., and Beard, M. C. (2011b). Peak external photocurrent quantum efficiency exceeding 100% via meq in a quantum dot solar cell. *Science*, 334(6062):1530–1533.
- Sharma, D., Jha, R., and Kumar, S. (2016). Quantum dot sensitized solar cell: Recent advances and future perspectives in photoanode. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 155:294–322.
- Stauffer, N. W. (2017). Transparent, flexible solar cells kernel description.
- Tian, X., Stranks, S. D., and You, F. (2020). Life cycle energy use and environmental implications of high-performance perovskite tandem solar cells. *Science Advances*, 6(31):eabb0055.
- Tian, X., Stranks, S. D., and You, F. (2021). Life cycle assessment of recycling strategies for perovskite photovoltaic modules. *Nature Sustainability*, 4(9):821–829.

- Wu, J., Yu, P., Susha, A. S., Sablon, K. A., Chen, H., Zhou, Z., Li, H., Ji, H., Niu, X., Govorov, A. O., Rogach, A. L., and Wang, Z. M. (2015). Broadband efficiency enhancement in quantum dot solar cells coupled with multispiked plasmonic nanostars. *Nano Energy*, 13:827–835.
- Yu, P., Wu, J., Gao, L., Liu, H., and Wang, Z. (2017). Ingaas and gaas quantum dot solar cells grown by droplet epitaxy. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 161:377–381.

# Matematik ve Fen Bilimleri Üzerine Araştırmalar-II

*Research on Mathematics and Science- II*

Editör: Doç. Dr. Adile Akpınar